

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE DIMENSÕES DO
NEXUS ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO E A VULNERABILIDADE
NO SUBMÉDIO RIO SÃO FRANCISCO**

Julia Lopes Ferreira

Dissertação de Mestrado

Brasília
2020

JULIA LOPES FERREIRA

**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE DIMENSÕES DO
NEXUS ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO E A VULNERABILIDADE
NO SUBMÉDIO RIO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof. Dr. Saulo Rodrigues Pereira Filho

Brasília
2020

**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE DIMENSÕES DO
NEXUS ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO E A VULNERABILIDADE
NO SUBMÉDIO RIO SÃO FRANCISCO**

JULIA LOPES FERREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento Sustentável.

Membros da banca examinadora

Prof. Dr. Saulo Rodrigues Pereira Filho, Centro de Desenvolvimento Sustentável, UnB
(orientador)

Prof. Dra. Cristiane Barreto, Centro de Desenvolvimento Sustentável, UnB
(examinadora interna)

Dr. Diego Lindoso, Rede Brasileira de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais
(examinador externo)

Brasília - 2020

DEDICATÓRIA

À Lina e ao João,
meus motivos para buscar caminhos melhores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio intelectual e técnico da Rede Brasileira de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede CLIMA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em especial à Subrede Desenvolvimento Regional, coordenado desde o Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília (CDS UnB). O projeto do qual este trabalho faz parte recebeu apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (MCTIC). O Projeto Integrativo de Segurança Socioambiental recebeu recursos do MCTIC (Finep 01.13.0353-00), da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF), da Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (FUNCATE) e do Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (chamada INCT—MCTI/CNPq/CAPES/FAPs n.16/2014).

Minha incursão no estudo do desenvolvimento sustentável seria muito mais árdua e desinteressante sem o apoio do Professor Saulo Rodrigues Filho. Sou muito grata pela qualidade do conhecimento transmitido, por topar explorar comigo caminhos alternativos e desafios entre as mudanças climáticas e gênero, os estudos quantitativos do *Nexus* Água-Energia- Alimento, a loucura de cursar três mestrados ao mesmo tempo, os desafios de saúde e dos caminhos pessoais que traçamos. O convite para entrar para a Rede CLIMA foi determinante para meu percurso desde então, assim como o suporte, estrutura e flexibilidade que me permitiram aprender, aproveitar e prosperar nas minhas empreitadas pessoais e profissionais. Sobretudo, sou muito grata pelo apoio em todas as vezes que eu quase desisti, pela confiança, respeito, empatia e humor nas horas mais apertadas. Obrigada por apostar em mim e compartilhar seu conhecimento e visão de mundo.

Aos colegas da Rede Brasileira de Mudanças Climáticas Globais (Rede CLIMA), obrigada pela troca, pelo companheirismo na difícil empreitada de agir pelo mais vulnerável quando se precisa para isso enfrentar um mundo que ameaça ignorar a ciência. Todos os membros do Projeto Integrativo de Segurança Socioambiental (PI SSA) tiveram importância fundamental no levantamento de dados secundários, políticas, discussões conceituais e nos trabalhos de campo que subsidiaram essa dissertação. Em especial, obrigada aos queridos parceiros Larisa Gaivizzo, Rafael Reis, Gabriela Litre, Diego Lindoso, Priscyla Mendes, Nelson Bernal, Daniela Nogueira, Ana Cláudia Almeida, com quem tive o prazer de trabalhar e conviver. Sou particularmente grata aos professores Marcel Bursztyn, Carlos Saito, Cristiane Barreto, Stéphanie Nasuti por muitas das minhas discussões

preferidas sobre desenvolvimento sustentável, pelos convites e confiança para experimentar ensinar na graduação.

A qualidade do ensino no Centro de Desenvolvimento Sustentável (CDS-UnB) foi essencial para a minha formação. Obrigada em especial aos professores João Nildo Viana, Elimar Nascimento, Fabiano Toni e Carlos Passos, pelo apoio e pelas provocações tanto em aula quanto fora delas, pela preocupação genuína com meu desenvolvimento enquanto pesquisadora.

A todos os funcionários do CDS-UnB, sem os quais nada existiria, obrigada pelo suporte, respeito e cuidado. À coordenação e ao colegiado que com sensibilidade compreenderam os desafios que não só a maternidade, mas também a pandemia de 2020 impuseram a esta construção.

À Geórgia, minha querida amiga, vizinha, mãe, filha, professora, aluna, companheira de viagem, de barriga e de empreitadas. Ao Gabriel, meu melhor rival nas cartas contra a humanidade. Ainda bem que vocês estavam por aqui.

Esse trabalho não seria possível sem a incrível rede de mulheres que me apoiou em tempos de gestação, puerpério, ausências e quarentena: Maria, Ana, Adriana, Lídia e Thainá.

Agradeço às minhas queridas Marias, que me inspiram a ser forte, independente e resiliente. Vocês são extraordinárias.

Às minhas queridas famílias numerosas Lopes, Ferreira, Camargos, Souza Dias e Garcia, minhas mães e meus pais, irmãs e irmãos, primas e primos, tios e tias, obrigada pelo suporte e forte presença que fazem as distâncias parecerem menores.

Ao Teo, Duca, Laura, Vitor e Maria Luiza, meu núcleo de fortaleza. As minhas conquistas são igualmente suas.

À minha mãe, que me equipou para fazer as boas perguntas e buscar os bons caminhos, mesmo que eles tenham me distanciado das expectativas, de tudo e de todos.

Ao João, pela vida extraordinária que decidimos viver juntos. Revisitei diariamente a decisão de voltar aos estudos e ainda que recaíssem sobre você os impactos, você vibrou e celebrou comigo cada passo sem hesitar. Mais ainda, me emprestou o seu cérebro brilhante e o seu coração, e me permitiu acompanhar-lhe na aventura linda que é evoluir ao seu lado.

À Lina, que diariamente nos arranca sorrisos e nos enche o coração de propósito com um bom humor impecável.

RESUMO

O submédio curso da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (SMSF) está entre as áreas mais vulneráveis do Brasil, onde a pobreza e a escassez de recursos humanos e financeiros se agravam pelos recorrentes eventos de estiagem, redução nos níveis de precipitação e aumento nas normais de temperatura. O período de 2012 a 2017 foi especialmente crítico e afetou a região com a pior seca desde os anos 1960, comprometendo a disponibilidade hídrica para demandas vitais como o abastecimento humano, a produção agropecuária, a dessedentação de animais e a geração de energia hidrelétrica. Estima-se que o aumento da frequência de extremos climáticos e a crescente conversão de vegetação nativa em áreas agrícolas poderão afetar temperatura e umidade do ar a ponto de ultrapassar a capacidade fisiológica humana de se adaptar. Diante destas previsões, este estudo buscou compreender a influência das dimensões das seguranças hídrica, energética e alimentar sobre a dinâmica socioeconômica e territorial do SMSF no contexto das mudanças climáticas. A abordagem *nexus* água-energia-alimento serviu como estrutura conceitual do trabalho, reconhecendo as interdependências, competição por recursos, sinergias e *trade-offs* entre estas três dimensões. Dados de exposição, usos múltiplos da água e consumo de energia dos 92 municípios do SMSF foram usados em um estudo de regressão linear múltipla para entender em que medida as dimensões *nexus* podem explicar a vulnerabilidade. Os anos de 2008 a 2014 foram selecionados de modo a capturar as diferenças entre anos secos e chuvosos. Os aportes dados por entrevistas semiestruturadas com lideranças locais, tomadores de decisão e grupos sociais como indígenas, quilombolas, pescadores, comunidades de fundo de pasto, lavadeiras, catadores de material reciclável, gestores públicos e membros da academia conferiram representatividade e legitimidade à avaliação da vulnerabilidade. Os resultados revelaram relações estatisticamente significativas entre o consumo de água para a irrigação, o consumo de energia elétrica e a variância da precipitação acumulada mensal média com a vulnerabilidade socioeconômica-ambiental. Realizou-se também uma análise dos *trade-offs* e sinergias entre estas dimensões específica para o contexto das fragilidades locais, no intuito de que o conhecimento gerado possa subsidiar futuras tomadas de decisão e mitigar a vulnerabilidade às mudanças climáticas no SMSF, sobretudo para os povos e comunidades tradicionais e grupos de maior vulnerabilidade.

Palavras-chave: Abordagem *Nexus* Água-Energia-Alimento, Vulnerabilidade, Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

The lower-middle stretch of the São Francisco River Basin (LMSF) is among the most vulnerable areas in Brazil. Financial and human resources, combined with multidimensional poverty are worsened by recurring droughts, reduced precipitation and increased temperature levels. Between 2012 and 2017, the region was affected by the most severe drought since the 1960's, and the water availability for vital functions like agriculture, animal feeding, hydroelectric energy generation and even drinking water for human consumption was compromised. The expected increase in frequency of extreme climate events and the ever-growing native forest conversion into agricultural land should affect temperature and humidity beyond human physiological capacity to adapt. Given these predictions, this study aimed to understand how the demands from local water, energy and food security affected the socioeconomic and territorial dynamics of the LMSF. The study followed the conceptual framework of the Water-Food-Energy Nexus approach, recognizing the interdependencies, competition for resources, synergies and trade-offs among these dimensions. Exposure and vulnerability data from the 92 municipalities of the LMSF were evaluated in two multiple linear regression models to understand how the nexus dimensions are able to explain vulnerability. The years 2008 to 2014 were evaluated to capture the difference between wet and dry years. Semi-structured interviews with local leaders, decision-makers and social groups, including native indigenous and quilombola communities, fishermen, waste scavengers, government authorities and the academia, provided representation and important insights that validated and legitimized the evaluation of vulnerability. Results suggested relevant and statistically significant relationships between socioeconomic and environmental vulnerability and the consumption of electricity and water for irrigation, as well as the average monthly accumulated precipitation variance. An analysis of the trade-offs and synergies between these dimensions considered local fragilities and context to generate scientific knowledge that may inform future decisions and help mitigate vulnerability to climate change in the LMSF, especially for traditional communities and disenfranchised groups.

Keywords: Water-Energy-Food Nexus, Vulnerability, São Francisco River Basin, Climate Change.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - MAPA PRELIMINAR DA REVISÃO DE LITERATURA	11
FIGURA 2.2 - VULNERABILIDADE RESULTANTE E VULNERABILIDADE CONTEXTUAL	13
FIGURA 2.3 - LIMITES PLANETÁRIOS	23
FIGURA 2.4 - ROSCA (<i>DOUGHNUT</i>) DOS LIMITES SOCIAIS E PLANETÁRIOS	24
FIGURA 2.5 - CADEIA DE IMPACTO DO AUMENTO DO NÍVEL DO OCEANO PARA DETERMINADO SISTEMA SOCIOAMBIENTAL	26
FIGURA 2.6 - DIAGRAMA DE <i>FEEDBACKS</i> DO NEXUS ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO.	41
FIGURA 2.7 - EXEMPLOS DE CADEIAS DE IMPACTO PREVISTAS DIANTE DAS MUDANÇAS NO CLIMA NA SMSF	44
FIGURA 3.1 - DESENHO DE MÉTODO NÃO EXPERIMENTAL MISTO ANINHADO CORRELACIONAL DO ESTUDO	52
FIGURA 3.2 - MÉTODO DE ESTUDO ADOTADO	53
FIGURA 3.3 - MODELOS TEÓRICO E EMPÍRICO PARA A AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE, DE IMPACTOS E DE ESTRATÉGIAS ADAPTATIVAS	54
FIGURA 3.4 - POLÍTICAS NACIONAIS COM INCIDÊNCIA NA BHSF	57
FIGURA 3.5 - ACESSO À ENERGIA ELÉTRICA (% DE DOMICÍLIOS ATENDIDOS POR MUNICÍPIO) E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA INFRAESTRUTURA DE GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA – 2010.	58
FIGURA 3.6 - TAXA DE VARIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LAVOURAS TEMPORÁRIAS (COEFICIENTE ANGULAR) E ESTABILIDADE DA PRODUÇÃO ANUAL (VARIÂNCIA) POR MUNICÍPIO – 2005 A 2015.	58
FIGURA 3.7 - MÉDIA MENSAL DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA POR MUNICÍPIO E VARIÂNCIA ANUAL DA MÉDIA MENSAL ACUMULADA (CÍRCULOS). DADOS DE 2005-2016.	58
FIGURA 3.8 - CONCENTRAÇÃO DOS POVOS E COMUNIDADES TRADICIONAIS POR MUNICÍPIO E POR TIPO DE GRUPO POPULACIONAL TRADICIONAL E ESPECÍFICO.	58
FIGURA 3.9 - DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE POVOS E COMUNIDADES TRADICIONAIS E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO.	58
FIGURA 3.10 - ABASTECIMENTO DE ÁGUA PELA REDE PÚBLICA (PERCENTUAL DE DOMICÍLIOS ATENDIDOS) – DADOS DE 2010	58
FIGURA 3.11 - RECORTE GEOGRÁFICO DO ESTUDO: MUNICÍPIOS DO SUBMÉDIO RIO SÃO FRANCISCO	59
FIGURA 3.12 - DESLOCAMENTOS PARA AS OFICINAS PARTICIPATIVAS E PESQUISAS DE CAMPO NO SMSF	61
FIGURA 4.1 - ESTRUTURA DE NÓS CONFORME O NÚMERO DE REFERÊNCIAS CODIFICADAS NAS ENTREVISTAS	91

FIGURA 4.2 - COMPARAÇÃO DE NÓS DOS USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS CONFORME NÚMERO DE REFERÊNCIAS CODIFICADAS	92
FIGURA 4.3 - COMPARAÇÃO DE NÓS DA VULNERABILIDADE CONFORME NÚMERO DE REFERÊNCIAS CODIFICADAS	96
FIGURA 4.4 - IDENTIFICAÇÃO DOS MUNICÍPIOS NO SMSF	107
FIGURA 4.5 - EVOLUÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICO-AMBIENTAL NO SMSF 2008 A 2014	108
FIGURA 4.6 - EVOLUÇÃO DA VULNERABILIDADE EM DISTINTAS DIMENSÕES SOCIOECONÔMICAS E AMBIENTAIS E REFLEXOS NO IVSEA MÉDIO PARA OS MUNICÍPIOS DO SMSF NOS ANOS DE ESTUDO	109
FIGURA 4.7 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NO SMSF (<i>HEATMAP</i>)	111
FIGURA 4.8 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA NO SMSF (VALORES)	112
FIGURA 4.9 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS USOS <i>NEXUS</i> NO SMSF (<i>HEATMAP</i>)	113
FIGURA 4.10 – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS USOS <i>NEXUS</i> NO SMSF (VALORES)	114
FIGURA 4.11 - GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE VALORES DE SAÍDA PREVISTOS E RESÍDUOS PADRONIZADOS	117
FIGURA 4.12 - INSPEÇÃO VISUAL DAS RELAÇÕES ENTRE O LOGARITMO NA BASE 10 DE IVSEA E (A) LOG10 ENERGIA1;	118
FIGURA 4.13- MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DO MODELO DE REGRESSÃO MÚLTIPLA (<i>HEATMAP</i>)	119
FIGURA 4.14 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS DO MODELO DE REGRESSÃO MÚLTIPLA (VALORES)	119
FIGURA 4.15 - HISTOGRAMA DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA OS MODELOS DE REGRESSÃO I (A) E II (B)	121
FIGURA 4.16 - GRÁFICOS P-P NORMAL DOS RESÍDUOS PADRONIZADOS PARA OS MODELOS DE REGRESSÃO I (A) E II (B)	122
FIGURA 4.17 - GRÁFICOS Q-Q NORMAL DOS RESÍDUOS PARA OS MODELOS DE REGRESSÃO I (A) E II (B)	122
FIGURA 6.1 - SÍNTESE DO MÉTODO DAS ESTIMATIVAS DAS VAZÕES ASSOCIADAS AO CONSUMO HUMANO	148
FIGURA 6.2 - MÉTODO PARA ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA PELA AGRICULTURA IRRIGADA	150

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - ARCABOUÇO ANALÍTICO DA VULNERABILIDADE APLICADO À SMSF	16
TABELA 2.2 – DIVERGÊNCIAS ENTRE AS ABORDAGENS DA VULNERABILIDADE E DO <i>NEXUS</i> ÁGUA-ENERGIA ALIMENTO	40
TABELA 3.1 - RESUMO DOS MÉTODOS PROPOSTOS PARA RESPONDER AS PERGUNTAS DE PESQUISA	48
TABELA 3.2 - ESCOLHAS PARA A ESTRUTURA DE DESENHO DO ESTUDO POR MÉTODOS MISTOS.	51
TABELA 3.3 - PERFIL DOS PARTICIPANTES DA PESQUISA POR GRUPO DE PERTENÇA, NÚMERO DE ENTREVISTAS E LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA	62
TABELA 3.4 - INDICADORES, CODIFICAÇÃO* E TRATAMENTO DAS VARIÁVEIS PREDITORAS	71
TABELA 3.5 - ESTRUTURA DE INDICADORES, TAXONOMIA, FONTES E SÉRIES TEMPORAIS DISPONÍVEIS	74
TABELA 3.6 - INDICADORES, CODIFICAÇÃO ^A E TRATAMENTO DAS VARIÁVEIS DE VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA	82
TABELA 3.7 - INDICADORES, CODIFICAÇÃO ^A E TRATAMENTO DAS VARIÁVEIS DE VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA (CONT.)	83
TABELA 3.8 - HIPÓTESES DE PESQUISA E NATUREZA DAS VARIÁVEIS	87
TABELA 3.9 - PREMISSAS PARA O USO DE ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA	88
TABELA 4.1 - ESTRUTURA FINAL DE INDICADORES DA VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL	102
TABELA 4.2 - AVALIAÇÃO DAS HIPÓTESES DE PESQUISA	104
TABELA 4.3 ESTATÍSTICAS DE RESÍDUOS PARA OS MODELOS DE REGRESSÃO I E II	120
TABELA 4.4 - SINERGIAS (+) E <i>TRADE-OFFS</i> (-) ENCONTRADOS ENTRE AS SEGURANÇAS ALIMENTAR, ENERGÉTICA E HÍDRICA NO SMSF, E AS IMPLICAÇÕES PARA A VULNERABILIDADE	138
TABELA 6.1 - DIMENSÕES PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS E RESPOSTAS À ESTIAGEM	146

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	3
1.2	ESTRUTURA ANALÍTICA	4
1.3	PERGUNTAS DE PESQUISA	5
1.4	OBJETIVOS DE PESQUISA	5
1.5	IMPORTÂNCIA DO ESTUDO	6
1.6	DECLARAÇÃO DE PROPÓSITO	7
1.7	ESCOPO DO ESTUDO	8
1.9	ORGANIZAÇÃO	9
2	REVISÃO DA LITERATURA	10
2.1	MAPA DA REVISÃO DE LITERATURA	11
2.2	ARCABOUÇO CONCEITUAL	12
2.2.1	VULNERABILIDADE	12
2.2.2	RESILIÊNCIA E ADAPTAÇÃO	17
2.2.3	MUDANÇAS E DESAFIOS DA CRISE CLIMÁTICA	19
2.2.4	SISTEMAS E LIMITES GLOBAIS, INTERAÇÕES COMPLEXAS E CADEIAS DE IMPACTOS	22
2.2.5	A NOVA AGENDA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	27
2.3	ARCABOUÇO ANALÍTICO	28
2.3.1	PROBLEMÁTICA DA ABORDAGEM <i>NEXUS</i> : O DESAFIO DA GOVERNANÇA DOS NOVOS COMUNS	28
2.3.2	ABORDAGEM <i>NEXUS</i> ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO	30
2.3.3	DIMENSÕES DA ABORDAGEM <i>NEXUS</i> : SEGURANÇA HÍDRICA	32
2.3.4	SEGURANÇA ENERGÉTICA: O PAPEL NA REDUÇÃO DA POBREZA	35
2.3.5	SEGURANÇA ALIMENTAR	37
2.4	CONVERGÊNCIAS CONCEITUAIS E ANALÍTICAS	39
2.5	CONTEXTO	42
2.5.1	IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS EM ESCALA LOCAL	42
2.5.2	VULNERABILIDADE E POBREZA NO SMSF	44

3	<u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	47
3.1	DESENHO DE PESQUISA	49
3.2	MÉTODOS MISTOS	51
3.2.1	PROCESSOS PARTICIPATIVOS E RECORTE GEOGRÁFICO	55
3.3	COMPONENTE QUALITATIVA	60
3.3.1	AMOSTRAGEM	61
3.3.2	INSTRUMENTOS DE COLETA E ANÁLISE	62
3.3.3	VALIDAÇÃO E CONFIABILIDADE	64
3.3.4	TÉCNICAS DE ANÁLISE	64
3.4	COMPONENTE QUANTITATIVA	65
3.4.1	CONSTRUÇÃO DO MODELO DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL	65
3.4.2	VARIÁVEIS INDEPENDENTES	65
3.4.3	VARIÁVEIS DEPENDENTES	71
3.4.4	TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DADOS	84
3.4.5	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICO-AMBIENTAL	84
3.4.6	ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA	85
4	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO DAS PERGUNTAS, OBJETIVOS E HIPÓTESES DE PESQUISA</u>	89
4.1	PERGUNTA DE PESQUISA A	89
4.1.1	MODELO DE ANÁLISE: IDENTIFICAÇÃO DE INDICADORES DE DEMANDA E INDICADORES DE VULNERABILIDADE	89
4.1.2	INDICADORES DE DEMANDA, USO E MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS – VARIÁVEIS INDEPENDENTES DO MODELO DE REGRESSÃO LINEAR	91
4.1.3	INDICADORES DE VULNERABILIDADE – VARIÁVEL DEPENDENTE DO MODELO DE REGRESSÃO LINEAR	96
4.2	PERGUNTA DE PESQUISA B:	103
4.2.1	ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIOECONÔMICO-AMBIENTAL (IVSEA)	106
4.2.2	ANÁLISE DAS PREMISAS PARA A REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA	110
4.2.3	ANÁLISES DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA	122

4.3	PERGUNTA DE PESQUISA CENTRAL	137
4.3.1	SINERGIAS E <i>TRADE-OFFS</i> ENTRE AS SEGURANÇAS ALIMENTAR, ENERGÉTICA E HÍDRICA NO SMSF E IMPLICAÇÕES PARA A VULNERABILIDADE	137
5	<u>CONCLUSÕES E RESUMO DOS RESULTADOS</u>	140
5.1	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	143
6	<u>APÊNDICES</u>	145
6.1	APÊNDICE 1 - INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS: ROTEIRO DE ENTREVISTA	145
6.2	APÊNDICE 2 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO E TERMO DE CESSÃO E AUTORIZAÇÃO DE USO E DIREITO DE IMAGEM	147
6.3	APÊNDICE 3 - DETALHAMENTO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA DO MODELO: METODOLOGIA DE OBTENÇÃO REALIZADOS PELA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS	148
6.4	APÊNDICE 4 – CÓDIGOS PARA ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS DE INDICADORES	152
6.4.1	TRATAMENTO DE DADOS - JUPYTER	152
6.4.2	ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA – DO-FILE – STATA SE	158
7	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	160

CAPÍTULO UM

1 INTRODUÇÃO

No momento da elaboração desta dissertação, o mundo enfrentava um dos maiores desafios da contemporaneidade. A rápida expansão da pandemia causada pelo Covid-19, até o momento sem cura, vacina ou tratamento eficaz, levou o mundo a uma nova condição de isolamento social. A pandemia afeta os sistemas de saúde, a economia, a tecnologia e a política, colocando à prova a capacidade adaptativa das sociedades em relação a grandes mudanças forçadas pela natureza. Neste tempo de incertezas, pouco se sabe sobre como os efeitos da pandemia serão sentidos em todo o mundo, com profundas mudanças nos meios e modos de vida.

As dificuldades de manutenção das sociedades e das cadeias de produção em tempos de pandemia evidenciam as interdependências rural-urbanas. Ao passo que as cidades, grandes consumidoras dos recursos hídricos e energéticos, dos serviços e produção agropecuários, têm reduzidas suas atividades sociais e econômicas, espera-se que as atividades no campo se mantenham para sustentar a sociedade. Os desafios de escassez impostos pelas restrições de circulação e de atividades econômicas apenas aos serviços essenciais trazem mais relevância a abordagens integrativas como a *Water-Food-Energy Nexus* (*WEF Nexus* ou *nexus* água-energia-alimento). Esta abordagem tem se consolidado na ciência e nas estruturas de governança dos recursos naturais por trazer um novo paradigma que consolida preocupações concomitantes ao pleno exercício dos direitos humanos: as seguranças hídrica, energética e alimentar. Dentre seus objetivos principais está o uso eficiente de recursos, sobretudo dos recursos hídricos, reconhecendo os limites dos sistemas naturais, tendo como arcabouço crítico a crise climática que se apresenta como o grande desafio civilizatório deste século (RODRIGUES-FILHO, BURSZTYN e SAITO, 2016).

No centro do debate sobre a garantia das seguranças hídrica, energética e alimentar está o objetivo de se reduzir a vulnerabilidade e aumentar as capacidades adaptativas da sociedade. Esse estudo se volta, em particular, para a vulnerabilidade de povos cujos modos de vida dependem diretamente dos recursos naturais ameaçados pelas mudanças climáticas. O estudo se insere no Projeto Integrativo de Segurança Socioambiental (PI SSA) da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede CLIMA), que se debruça sobre a Bacia Hidrográfica do Rio São

Francisco (BHSF), em especial em seu trecho de maior vulnerabilidade ambiental e socioeconômica, o Submédio São Francisco (SMSF).

A bacia do rio São Francisco, particularmente os trechos dentro da região semiárida, está entre as áreas em regiões tropicais mais afetadas pelos aumentos de temperatura e redução de precipitação no último século (IPCC, 2014; IPCC, 2013; PBMC, 2013). A região enfrentou uma severa estiagem que perdurou de 2012 a 2017, a mais longa desde os anos 60 (SILVA *et al.*, 2017), e teve no ano de 2012 seu ano mais seco (SEYFFARTH e RODRIGUES, 2017; MARENGO *et al.*, 2018).

O rio São Francisco é o único, dentre os maiores rios do Brasil, que começa e termina dentro do país e está dividido entre quatro grandes áreas fisiográficas, do sul para o norte: o alto, médio, submédio e baixo cursos do rio (MMA; COBRAPE-PROJETEC, 2017). Ele tem particular importância para a vida e a economia do semiárido, além de ser o maior garantidor da segurança hídrica de uma parte considerável da região. Sobretudo após o grande projeto de transposição iniciado em 2009, mas também devido ao processo histórico secular de ocupação humana, os ecossistemas e economias dependentes da bacia foram severamente afetados, justificando o planejamento e a implementação de os projetos de recuperação e revitalização, ainda sujeitos a uma série de obstáculos político-institucionais (MMA; COBRAPE-PROJETEC, 2017; ZELLHUBER e SIQUEIRA, 2016). As vulnerabilidades da região resultam principalmente da pobreza e das condições ambientais comprometidas da Caatinga, exacerbadas pelas mudanças climáticas e eventos extremos. O aumento das temperaturas esperado para a região, associado às quedas nas normais de precipitação e umidade do ar, deverá ultrapassar a capacidade de suporte dos ecossistemas e a própria capacidade fisiológica humana de se adaptar (CHOU *et al.* 2014).

A BHSF contribui também com parcela significativa da geração de energia elétrica da região, e possui importantes centrais geradoras com barramentos hidráulicos que, por um lado, aumentam a capacidade de armazenamento de água para funções consuntivas e por outro, afetam as vazões à jusante com impactos à capacidade pesqueira, à navegabilidade do rio e aos ecossistemas (MMA; COBRAPE-PROJETEC, 2017). Paradoxalmente, apesar dos grandes empreendimentos e barragens, são comuns os cenários de comunidades próximas aos barramentos sem acesso aos sistemas de distribuição de água e energia, como visto nos trabalhos de campo do projeto.

O clima seco e a escassez de chuvas colocam a irrigação, responsável por 77% das retiradas de água da bacia, como limitadora do desenvolvimento agrário (ANA, 2018), sobretudo para os pequenos produtores do SMSF. O macrozoneamento ecológico-econômico da BHSF, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, reconhece que o alcance das intervenções cabíveis pelo

instrumento é bastante limitado enquanto as populações não tiverem acesso ao recurso (MMA; COBRAPE-PROJETEC, 2017).

As seguranças hídrica, energética e alimentar estão intimamente ligadas à vulnerabilidade dos sistemas sociais, ecológicos e socioecológicos às mudanças do clima e eventos extremos no SMSF. Somam-se ao contexto a fragilizada condição socioeconômica da região e seus fatores intervenientes: o projeto de transposição da bacia; a grande área suscetível à desertificação (MMA, 2007) a longa estiagem que afetou o Nordeste na segunda década do século XXI (MARENGO, TORRES e ALVES, 2016); os impactos das secas sobre os sistemas humanos e produtivos nas comunidades rurais (LINDOSO, 2013) e as previsões de crescimento urbano desordenado sob a forma de aglomerados subnormais (PBMC, 2016).

Propõe-se, portanto, uma avaliação da relação entre estas dimensões. Especificamente, o estudo buscou entender como o uso e manejo dos recursos hídricos para a garantia das três seguranças do *nexus* água-energia-alimento produz externalidades que afetam a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental nos 92 municípios do submédio São Francisco. O SMSF possui um grupo diverso de atores sob forte pressão das condições socioeconômicas e climáticas que afetam a região, como as comunidades de fundo de pasto, indígenas, grupos sociais urbanos (como agentes de reciclagem e catadores), lavadeiras, pescadores, entre outros, que são o foco dessa pesquisa. Os recursos do PI SSA já empregados e a disponibilidade de dados apoiam a viabilidade deste estudo.

Em um momento em que o mundo enfrenta os desafios e o temor da interrupção dos serviços essenciais, este projeto buscou entender a dinâmica de comunidades que já vivem estas deficiências de direitos, na esperança de que o conhecimento gerado possa elucidar caminhos adaptativos que encurtem o isolamento que há muito mantem a região alijada do desenvolvimento sustentável.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Esta dissertação busca contribuir para a resolução de algumas lacunas teóricas e práticas no estudo e enfrentamento das mudanças climáticas. Do ponto de vista teórico-metodológico, procura avançar na escassa literatura sobre procedimentos e métodos para a abordagem *nexus* água-energia-alimento, sobretudo do ponto de vista quantitativo. Do ponto de vista prático, a ciência enfrenta o desafio de estabelecer ligações entre esses temas para orientar a ação pública. O uso de estudos de correlação e determinação entre a disponibilidade hídrica; as seguranças energética, alimentar e hídrica; e as variações do clima com a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental poderão apoiar a tomada de decisão das ações públicas e coletivas no enfrentamento das mudanças climáticas.

1.2 ESTRUTURA ANALÍTICA

A abordagem *nexus* água-energia-alimento serviu como estrutura analítica para a condução do trabalho. Sua estrutura reconhece a interconectividade entre as seguranças hídrica, alimentar e energética, setores que, de forma conjunta, determinam atributos dos sistemas humanos e naturais e criam sinergias potenciais e *trade-offs* complexos (HOFF, 2011; RINGLER, 2013).

Propõe um novo modelo que substitui o viés econômico tradicional de minimização de custos e maximização de lucros em cada um desses setores de maneira isolada, buscando otimizar a utilização dos recursos hídricos e reduzir custos de transação (VON BRAUN e MIRZABAEV, 2016). A abordagem tem como objetivos, portanto, acelerar o acesso às seguranças hídrica, alimentar e energética, melhorar a qualidade dos serviços e a qualidade de vida das populações dentro dos limites do planeta (GIZ; ICLEI, 2014).

A terminologia *nexus* água-energia-alimento tem se desdobrado em um amplo léxico que nela se apoia, bem como em práticas, linhas de pesquisa, metodologias e debates dominantes nos meios políticos, científicos e, mais recentemente, corporativos. Em torno da discussão do uso eficiente de recursos (sobretudo hídricos, mas também financeiros, humanos, estruturas de poder, entre outros) e dos desafios de escassez está o nexo entre os setores de alimentos, água e energia. Desenvolveram-se termos ora mais, ora menos elaborados como pensamento *nexus*, governança *nexus*, pesquisa científica *nexus*, economia *nexus*, instituições *nexus*, (integração de) políticas *nexus*, debate *nexus*, estruturas *nexus*, recursos *nexus*, *nexus+* água-energia-alimento, entre outros (MÄRKER, VENGHAUS e HAKE, 2018; ALLOUCHE, MIDDLETON e GYAWALI, 2019; ARAUJO *et al.*, 2019; GIZ; ICLEI, 2014; FUTURE EARTH, 2018). O grau de sofisticação conceitual e de desenvolvimento destes termos tem grande variação, mas todos os conceitos giram em torno de um pensamento que integra e considera as três dimensões e os limites de recursos.

Especial atenção foi dada neste estudo aos procedimentos metodológicos, com o objetivo de avançar nesta lacuna da literatura e da operacionalização do WEF *Nexus*. A análise se deu apoiada em métodos de pesquisa mistos (quali-quantitativos) que permitiram integrar a perspectiva do conhecimento especialista sobre as relações de dependência entre as dimensões das seguranças hídrica, energética e alimentar com a percepção de atores e partes interessadas sobre essas mesmas relações em nível local e regional.

A relação entre os distintos usos da água e indicadores de vulnerabilidade socioeconômica e ambiental aproxima a metodologia utilizada da estrutura proposta pela abordagem *Nexus+*, que

considera a segurança socioambiental¹ como uma dimensão adicional de interface entre as seguranças hídrica, energética e alimentar (ARAÚJO *et al.*, 2019). Nesse sentido, o objetivo central desta análise deixa de ser a otimização dos setores e se volta para a mitigação² da vulnerabilidade das populações frente aos estresses climáticos.

1.3 PERGUNTAS DE PESQUISA

Diante do problema de pesquisa e demandas da região de estudo expostos, este estudo buscará responder às seguintes perguntas de pesquisa:

Em que medida as pressões exercidas pela busca da garantia das seguranças do Nexus água-energia-alimento sobre os recursos hídricos dos municípios do submédio curso da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, quando observadas em conjunto, se relacionam com a vulnerabilidade das populações às mudanças climáticas?

As seguintes perguntas secundárias deverão apoiar a pergunta central:

- A. Que estrutura de indicadores poderá definir a vulnerabilidade destas populações com legitimidade e representatividade, considerando as percepções de atores locais?
- B. Em que medida os extremos de precipitação característicos da estiagem que atingiu a região no início do século afetaram a relação entre o uso e manejo dos recursos hídricos para as seguranças hídrica, alimentar e energética com vulnerabilidade das populações às mudanças climáticas?

1.4 OBJETIVOS DE PESQUISA

Definidos o objeto e contexto do estudo, tem-se como objetivo geral desta pesquisa *compreender a influência das dimensões das seguranças hídrica, energética e alimentar sobre a vulnerabilidade do submédio curso da bacia hidrográfica do rio São Francisco no contexto das mudanças climáticas.*

¹ A segurança socioambiental é definida como a dimensão político-territorial de sistemas sociais e naturais acoplados que favorece a adaptação frente a estresses climáticos. A promoção da segurança socioambiental requer a compreensão das interconexões entre setores, escalas e atores, bem como a adoção de abordagens integradas que permitam minimizar *trade-offs* e potencializar sinergias entre respostas políticas setorializadas (ARAÚJO *et al.*, 2019; PI-SSA, 2017).

² O estudo das mudanças climáticas convencionou na literatura e em seu léxico uma divisão dos focos de estudo entre a mitigação (voltada às ações que promovam redução de emissões e/ou aumento da captura de carbono) e a adaptação (voltada às ações que buscam reduzir os impactos das mudanças climáticas e ajustar os modos de vida a uma nova realidade). É necessário atentar para a diferença, portanto, entre mitigação das mudanças climáticas, que tem o sentido acima, e mitigação da vulnerabilidade, que usa o sentido original do termo mitigação e sua ação lenitiva, de redução ou de abrandamento da vulnerabilidade.

De maneira específica, o estudo objetiva:

- A. Contribuir para a construção de arcabouço metodológico da pesquisa científica *Nexus Água-Energia-Alimento*, a partir da análise de dados em escala municipal e de percepções de atores-chave no submédio curso da BHSF;
- B. Elaborar ferramentas e argumentos que considerem o contexto das fragilidades locais e que possam subsidiar futuras tomadas de decisão, com o intuito de mitigar a vulnerabilidade às mudanças climáticas no SMSF, sobretudo para os povos e comunidades tradicionais e grupos de maior vulnerabilidade.

1.5 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO

A mais urgente e evidente lacuna a ser preenchida está no fato de que diversas populações não têm acesso às seguranças energética, alimentar e hídrica, impedindo o exercício de direitos básicos e a promoção das justiça climática e social. Estima-se que até 2016, cerca de 1,1 bilhão de pessoas no mundo não tinha acesso a energia elétrica; 2,1 bilhões não dispunham de água potável e mais de 850 milhões estavam em situação de fome crônica (FAO, 2019; FUTURE EARTH, 2020). Diversos cenários projetados estimam que as demandas de energia deverão dobrar até 2050, e as demandas por água e alimentos deverão aumentar em pelo menos 50% (FUTURE EARTH, 2020). No caminho para o atendimento universal dessa demanda, ainda são poucos os resultados divulgados de experiências reais em que a abordagem *nexus* conseguiu com sucesso promover a mitigação de vulnerabilidades. Faltam também estudos que relacionem eventos extremos ao conceito *nexus* e aos impactos sobre os modos de vida (FUTURE EARTH, 2018).

A importância deste estudo se dá sobretudo pela perenidade da deficiência de direitos humanos e recursos que afeta o semiárido nordestino brasileiro como resultado de uma confluência de fatores que fragilizam a região. Destacam-se a intensificação de extremos climáticos como a seca e a consequente susceptibilidade à desertificação (MMA, 2007; IPCC, 2013; PBMC, 2013), as altas temperaturas registradas nos últimos anos (MARENGO, TORRES e ALVES, 2016), a fragilidade dos serviços ecossistêmicos e do bioma Caatinga (BRAZIL; MOE, 2015). De maneira indissociável, a frágil base de recursos naturais e as pressões antrópicas sobre os ecossistemas se somam à pobreza multidimensional e persistente na região que agrava a vulnerabilidade das populações.

No âmbito acadêmico, o estudo busca acrescentar ao corpo da literatura sobre a abordagem WEF *Nexus* uma metodologia quantitativa para avaliar em conjunto os setores hídrico, energético e alimentício com foco na segurança socioambiental. Ainda, busca acrescentar ao tema a importância

do objetivo final da abordagem que deve ser a redução das vulnerabilidades, a segurança socioambiental e a adaptação aos estresses climáticos, para além da visão de otimização dos recursos com foco nos três setores em si. Por fim, traz o olhar das populações como validação de estudo qualitativo, buscando a construção transdisciplinar e coletiva de conhecimento científico, mesmo que de forma embrionária.

Na esfera política, o estudo poderá fornecer subsídios à tomada de decisão acerca dos recursos hídricos, da destinação de recursos financeiros, das determinações de vazão, outorga e retirada do rio São Francisco para os múltiplos usos consuntivos e não consuntivos, considerando o objetivo prioritário da segurança socioambiental e a redução da vulnerabilidade das populações do SMSF.

1.6 DECLARAÇÃO DE PROPÓSITO

O propósito do presente estudo de métodos mistos foi de analisar as relações de interdependência entre as seguranças hídrica, energética e alimentar com a mitigação da vulnerabilidade dos sistemas socioecológicos³ nos municípios do submédio curso da BHSF. Dados secundários quantitativos e percepções qualitativas de atores locais foram coletados separadamente e posteriormente combinados para subsidiar esta análise.

Ainda que o estudo tenha adotado o conceito de avaliação por métodos mistos, ele se apoia de forma mais específica na análise quantitativa. Buscou-se verificar a existência de relações estatisticamente significativas entre os múltiplos usos dos recursos hídricos do rio São Francisco, a demanda energética e as mudanças climáticas com suas vulnerabilidades socioeconômica e ambiental evidenciadas em 92 municípios do submédio curso da bacia no período de 2008 a 2014. Uma análise de regressão linear múltipla utilizou o consumo de água para usos consuntivos, o consumo de energia elétrica para uso residencial, a precipitação média mensal e a variância da precipitação como variáveis independentes em escala municipal. A variável dependente, o índice sintético de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental (iVSEA), é composta de diversos indicadores em nível municipal que retratam as dimensões social, econômica e ambiental locais.

Na análise qualitativa, as percepções coletadas em entrevistas semiestruturadas com lideranças de distintos grupos em 17 municípios da região do Submédio rio São Francisco forneceram subsídios para a composição do índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental. Os diálogos exploraram os impactos das mudanças climáticas e da recente crise de escassez hídrica que afetou a

³ Sistemas socioecológicos: reconhecimento de um sistema natural em que homem e ecossistemas são indissociáveis (LINDOSO, 2013).

região entre 2012 e 2017. A identificação de vulnerabilidades por parte dos entrevistados forneceu insumos que validaram a escolha de indicadores relevantes para a criação de uma estrutura de análise representativa e focada em preocupações legítimas e fornecidas de baixo para cima.

1.7 ESCOPO DO ESTUDO

O estudo se concentra nos municípios do submédio curso da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Dados secundários de indicadores para os 92 municípios em questão foram combinados para a composição de um índice sintético de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental, para fins de avaliação da correlação entre a disponibilidade, o uso e manejo dos recursos hídricos, e a vulnerabilidade resultante. A limitação das séries de dados históricos entre 2008 e 2014 possibilitou a investigação de um maior número de indicadores, de acordo com a disponibilidade de dados no momento da elaboração do estudo. Esse período permitiu a avaliação e comparação das condições locais antes e após o início da seca que afetou a região entre 2012 e 2017 (SILVA *et al.*, 2017; MARENGO *et al.*, 2018).

Os diálogos, articulações institucionais e entrevistas buscaram envolver lideranças locais dos distintos setores da economia da região: autoridades e gestores públicos, organizações não governamentais, comitê de bacia, lideranças da sociedade civil e povos e comunidades tradicionais (PCTs) como indígenas, comunidades de fundo de pasto, associações de lavadeiras, agricultores familiares, entre outros. Para tal, foram visitados 17 municípios. Por vezes, os limites dos municípios do submédio rio São Francisco foram extrapolados de modo a incluir comunidades que, ainda que geograficamente não pertençam aos limites políticos da região, estão sob forte influência e dependem de seus recursos hídricos, bem como para observar fenômenos, comunidades e infraestrutura que exerciam ou estavam sob influência do SMSF. As entrevistas abordaram percepções históricas dos atores locais, buscando identificar as mudanças e impactos passados em relação àqueles sofridos durante a seca de 2012 a 2017.

1.9 ORGANIZAÇÃO

Este estudo se organiza em cinco capítulos que seguem a estrutura tradicional de uma dissertação. Após esta introdução e contextualização da pesquisa, um capítulo com a revisão da literatura pertinente buscou expandir a compreensão do contexto e estabelecer o arcabouço metodológico-conceitual na qual a pesquisa se apoia. O terceiro capítulo detalha o método e estabelece as hipóteses estudadas e os procedimentos adotados para responder as perguntas de pesquisa. No quarto capítulo estão a discussão dos resultados e análises à luz dos objetivos da pesquisa. Por fim, o último capítulo resume as principais conclusões e recomendações.

CAPÍTULO DOIS

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem como finalidade dar sustentação aos objetivos de pesquisa por meio da análise do estado da arte de conhecimento, conceitos, metodologias e contexto do estudo.

A revisão seguiu métodos sugeridos por Creswell (2014) e Alemu (2016). Um mapa inicial da literatura foi definido para delinear como a literatura poderia apoiar as perguntas e o alcance dos objetivos de pesquisa. Para temas já desenvolvidos pela Subrede Desenvolvimento Regional da Rede CLIMA, como vulnerabilidade e adaptação, agendas de desenvolvimento sustentável, medidas adaptativas, planos e programas, as revisões já realizadas foram revisitadas e atualizadas com informações e incrementos recentes. Definiu-se um grupo de palavras-chave a partir do mapa para iniciar a busca por documentos e publicações relevantes, sobretudo que combinassem os temas: vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas, abordagem *WEF Nexus*, Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (associada aos temas da pesquisa), segurança hídrica, segurança alimentar, segurança energética, usos consuntivos de recursos hídricos. A revisão da literatura se baseia em grande parte na chamada literatura “cinza”, em textos seminais conhecidos pelo grupo de pesquisa e, em parte, em determinações, planos e programas do setor público e de organizações internacionais.

Operadores booleanos foram utilizados para encontrar literatura que combinasse e discutisse os temas da pesquisa em conjunto, como a vulnerabilidade na bacia do rio São Francisco e as relações entre as mudanças climáticas e os usos da água no semiárido nordestino. Uma pesquisa de *desktop* utilizou bases de dados e ferramentas de busca (Google Scholar, Scopus, Science Direct, Springerlink e Mendeley). Foram priorizados, primeiramente, documentos que apresentassem uma revisão da literatura sobre as seguranças hídrica, alimentar e energética, a abordagem *nexus* água-energia-alimento e a abordagem da vulnerabilidade. Estes documentos guiaram a expansão da pesquisa segundo metodologia de referência de “bola-de-neve” para capturar mais documentos relevantes, utilizando-se das bibliografias de textos-chave, além da busca de notícias e relatórios disponibilizados na internet. Um segundo filtro selecionou as fontes segundo datas de publicação mais recentes e número de citações, com atenção, entretanto, para que documentos seminais que aparecessem com frequência fossem incluídos, mesmo que antigos. Um terceiro filtro foi feito pela leitura de resumos, determinando que publicações fossem incluídas conforme a centralidade do texto em relação aos

objetivos de pesquisa. Literatura em inglês e português foram priorizadas, além de alguns documentos em espanhol e francês. Após a priorização e revisão dos textos selecionados, buscou-se construir uma revisão da literatura que fornecesse a base de conhecimento necessária para a estrutura de análise proposta.

2.1 MAPA DA REVISÃO DE LITERATURA

O mapa temático preliminar da literatura apresentado na Figura 2.1 contém uma representação visual desta etapa da pesquisa, elaborado segundo as metodologias sugeridas por Alemu (2016) e Creswell (2014). Este passo teve como objetivo esquematizar como a literatura ajuda a responder as perguntas de pesquisa e ao mesmo tempo estabelecer as bases de conhecimento que possibilitam o alcance dos objetivos. O mapa serviu como um guia para as buscas e para o entendimento das conexões entre os temas explorados no estudo.

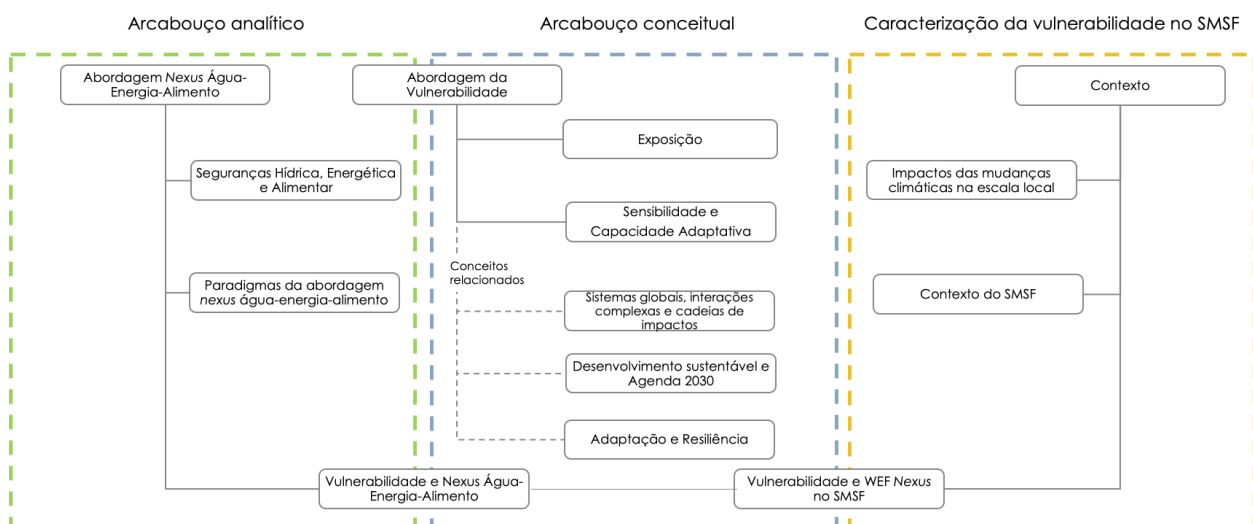


Figura 2.1 -Mapa preliminar da revisão de literatura

Fonte: elaborado pela autora.

Este estudo buscou combinar duas abordagens importantes no estudo do desenvolvimento sustentável: a abordagem *nexus* água-energia-alimento e a abordagem da vulnerabilidade. A primeira se apresenta como arcabouço analítico. A questão básica a ser tratada na região é o uso e manejo dos recursos hídricos e energéticos, bem como o uso do solo e de demais recursos naturais diante das demandas concorrentes e por vezes conflitantes. A abordagem *nexus* traz perspectiva de integrar os três setores na governança dos bens, para entender como afetam a região de maneira conjunta, suas sinergias e *trade-offs*. A análise feita pelo estudo buscou, portanto, operacionalizar esta integração.

A abordagem da vulnerabilidade, por sua vez, possui tanto componentes conceituais quanto analíticos. Por um lado, os conceitos à vulnerabilidade (sensibilidade, exposição e capacidade adaptativa), bem como conceitos relacionados (como adaptação e resiliência, entre outros) são necessários ao entendimento do contexto da SMSF. Por outro lado, para compreender a vulnerabilidade das populações às decisões de uso e manejo dos recursos e às mudanças climáticas, foram avaliadas as dimensões da vulnerabilidade e as componentes de sensibilidade e capacidade adaptativa. A abordagem apresenta assim uma componente analítica que determina o método de análise adotado.

Outros conceitos permeiam os fenômenos estudados, estabelecem limites aos sistemas de análise e apoiam o arcabouço conceitual-teórico: os sistemas globais, os limites planetários, as interações complexas entre os fenômenos terrestres e as cadeias de impactos. Foram discutidos também a atual agenda do desenvolvimento sustentável, tem no centro de seus objetivos a redução da vulnerabilidade e a preservação dos sistemas socioecológicos.

Por fim, faz-se necessário caracterizar a vulnerabilidade no SMSF. Os impactos das emergências climáticas na escala local e a fragilidade histórica da região foram contextualizadas.

2.2 ARCABOUÇO CONCEITUAL

2.2.1 Vulnerabilidade

O termo vulnerabilidade é utilizado na literatura que discute as mudanças do clima de forma bastante ampla. Grandes correntes abordam o assunto a partir de duas perspectivas: a origem ou causa da vulnerabilidade; e as características do sistema que o definem como tal. Por um lado, entende-se a vulnerabilidade como resultado da exposição a riscos e perigos externos, pensada em termos da exposição física e da sensibilidade a estes perigos (CARDONA *et al.*, 2012). A esta perspectiva está associado o conceito de vulnerabilidade biofísica, no qual a vulnerabilidade resulta da interação entre o sistema exposto e o fator de exposição (SMIT, 2007). Dentre os principais fóruns sobre o tema, o International Strategy for Disaster Reduction – Sendai Framework (ISDR) define vulnerabilidade como uma função das características internas de um sistema que o torna suscetível aos impactos de perigos externos, ainda que essa suscetibilidade possa ser determinada por múltiplos fatores distintos, como processos internos, fatores físicos, econômicos, sociais e ambientais (UNISDR, 2015; UNISDR, 2009).

De outro lado, busca-se entender como fatores intrínsecos ao sistema e as diferenças sociais como classe, gênero e etnia modelam a vulnerabilidade. Ahmed e Fajber (2009) argumentam, por exemplo, que a vulnerabilidade aos desastres naturais na Índia é principalmente resultante da pobreza e marginalização e não apenas dos efeitos físicos dos desastres em si (OXFAM GB, 2009). Reyes (2009) argumenta que no Peru, a vulnerabilidade das mulheres aos efeitos do El Niño resulta sobretudo de sua invisibilidade nos processos políticos e sociais em nível nacional (OXFAM GB, 2009). Outro importante fórum de debate do tema, o IPCC define vulnerabilidade como a propensão ou predisposição do sistema a ser negativamente afetado, atribuindo-a sobretudo a características endógenas. O termo envolve ainda uma variedade de conceitos que inclui a sensibilidade, a susceptibilidade ao dano e a falta de capacidade de enfrentar adversidades e se adaptar (PACHAURI *et al.*, 2014, p. 128). Essa perspectiva está associada a visões antropocêntricas da vulnerabilidade e à redução da capacidade de sistemas sociais de responder aos fatores de exposição como resultado das condições socioeconômicas e políticas (ADGER, 2006).

Füssel (2009) e O'Brien *et al.* (2007) trazem para o contexto das mudanças climáticas essa separação das duas correntes mais proeminentes no estudo da vulnerabilidade, denominando-as vulnerabilidade resultante (ou risco-perigo) e vulnerabilidade contextual (ou social-construtivista), conforme Figura 2.2 a seguir.

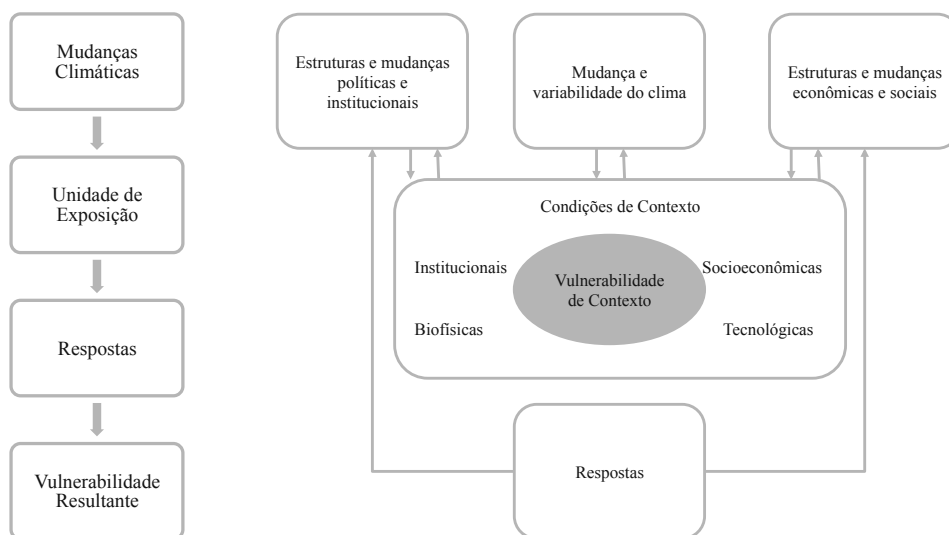


Figura 2.2 - Vulnerabilidade Resultante e Vulnerabilidade Contextual

Fonte: adaptado de O'Brien (2007)

A vulnerabilidade contextual se define exclusivamente por características internas que determinam a propensão do sistema vulnerável a ser afetado por uma ampla gama de perigos. A vulnerabilidade resultante por sua vez combina a informação de potenciais impactos climáticos e a

capacidade socioeconômica do sistema vulnerável de lidar e se adaptar (FÜSSEL, 2009). Esta última, no entanto, recebe fortes críticas por se tratar de metodologia ‘ambígua e imprecisa’ de avaliação da vulnerabilidade adotada pela UNFCCC e conseqüentemente pelo IPCC no quarto e quinto relatórios de avaliação (do inglês *Fourth e Fifth Assessment Reports - AR4 e AR5*) (STOCKER *et al.*, 2013; IPCC, 2007; IPCC, 2014; PACHAURI *et al.*, 2014). Füssel define ainda um terceiro arcabouço integrado que combina aspectos sociais internos e biofísicos externos relacionados aos perigos locais (FÜSSEL, 2005).

Uma vez que as decisões políticas e científicas de avaliação da vulnerabilidade impactam diretamente a alocação de recursos e de medidas de adaptação, a metodologia de avaliação da vulnerabilidade e seus impactos ganha especial relevância. Füssel (2005) discute o contexto ótimo para a utilização destas abordagens na elaboração de políticas: a vulnerabilidade risco-perigo é capaz de fornecer informações para políticas de mitigação diante da avaliação do risco de elementos que surgem da exposição a perigos. A análise de quem é vulnerável e por quê é vulnerável, sob a ótica social-construtivista, evidencia a capacidade de resposta socioeconômica a fatores de estresse. Essa análise é particularmente útil na elaboração de políticas de adaptação e ganhou popularidade por reduzir a abstração do conceito de vulnerabilidade ao questionar quem, o quê, a que e por quê um determinado sistema é vulnerável (PNUD, 2014). Uma análise integrada da vulnerabilidade possui uma relação com aspectos mais amplos na elaboração de políticas, incluindo a mitigação, adaptação e compensação (FÜSSEL, 2005).

A vulnerabilidade é geralmente descrita em função de três atributos: exposição aos perigos externos, sensibilidade interna à exposição e capacidade adaptativa (IPCC, 2007; LINDOSO e RODRIGUES FILHO, 2016).

Cardona *et al.* (2012) definem a exposição como função do inventário de elementos em um sistema que podem ser afetados por um risco. Por outro lado, Füssel e Klein (2006) relacionam a exposição a fatores externos ao sistema e à fonte de perturbação, à natureza e ao grau em que esse sistema é exposto a variações climáticas. Ainda, a exposição depende do grau de mudança global do clima e da heterogeneidade espacial das mudanças climáticas antropogênicas.

A sensibilidade se relaciona às características intrínsecas do sistema e sua capacidade de absorver mudanças causadas por estímulos internos ou externos (GALLOPÍN, 2006), e em que medida esse sistema é capaz de absorvê-las sem sofrer mudanças significativas no longo prazo – e nesse ponto se aproxima da capacidade do sistema de se adaptar sem sofrer mudanças de estado significativas (ADGER, 2006; GALLOPÍN, 2006). A sensibilidade, no campo das mudanças

climáticas, se relaciona com os conceitos de suscetibilidade e fragilidade, usados no estudo da gestão de riscos de desastres (CARDONA *et al.*, 2012), definindo a predisposição de um sistema de ser afetado por fenômenos perigosos e sofrer danos como consequência de características intrínsecas e de contexto.

A capacidade adaptativa é comumente definida como a habilidade de um sistema em acomodar distúrbios conforme a disponibilidade e acesso a opções, arranjos institucionais e recursos individuais, entendida deste modo como um elemento da vulnerabilidade que o define (BROOKS, ADGER e KELLY, 2005; PELLING, 2011). Já Adger (2006) considera a capacidade adaptativa como um elemento da resiliência que determina a vulnerabilidade: a habilidade de um sistema em desenvolver e acomodar perigos ambientais e mudanças políticas, de modo a expandir a variabilidade com a qual o sistema consegue lidar. A capacidade adaptativa, neste sentido, depende da habilidade do sistema de transitar entre opções de estabilidade, influenciando a resiliência (WALKER *et al.*, 2004).

A partir desta divisão entre abordagens (contextual e resultante) e entre atributos (exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa), definem-se também duas categorias de vulnerabilidade: os impactos líquidos de mudanças climáticas futuras, depois de consideradas opções de adaptação; e a interpretação de que as condições socioeconômicas atuais determinam como as mudanças climáticas afetam um sistema, determinando sua capacidade adaptativa (O'BRIEN *et al.*, 2004).

Relatórios mais recentes do IPCC, no entanto, aproximam a vulnerabilidade do conceito de sensibilidade, uma dimensão separada da exposição aos perigos (IPCC, 2018). Enquanto versões anteriores entendiam a vulnerabilidade como uma função da sensibilidade, definições mais recentes incorporam a vulnerabilidade como uma componente da sensibilidade (BROOKS *et al.*, 2011). Essa diferenciação está baseada sobretudo no entendimento das condições determinantes ao risco: é possível estar exposto sem estar vulnerável (CARDONA *et al.*, 2012). Neste ponto, o risco de um sistema em si se aproxima dos conceitos anteriormente definidos para a vulnerabilidade, visto como uma função da exposição e da vulnerabilidade deste sistema aos perigos (FÜSSEL e KLEIN, 2006; BROOKS *et al.*, 2011). Para alinhar-se com a literatura recente de mudanças climáticas retratada pelo IPCC, este estudo aborda a vulnerabilidade de forma distinta da exposição. Vulnerabilidade é utilizada, portanto, como sinônimo de sensibilidade, ainda que esta exerça influência no contexto e na evolução temporal dos dados avaliados (sobretudo nas comparações pré e pós a seca do septênio 2008-2014). Entende-se que a vulnerabilidade parte de causas externas e internas e que a combinação destes fatores determina a susceptibilidade de um sistema aos riscos.

A vulnerabilidade de um indivíduo às mudanças climáticas depende diretamente de sua relação com os recursos naturais. Os sistemas sociais e ecológicos se relacionam como fontes de alternativas adaptativas, enquanto os sistemas sociais se caracterizam também como o meio econômico-político-institucional que viabiliza o acesso a essas alternativas. Comunidades em áreas rurais nos países em desenvolvimento estão entre os grupos mais sensíveis, uma vez que dependem diretamente dos recursos naturais locais como meio de sobrevivência (IPCC, 2007). Existem amplas previsões de que as mudanças climáticas afetarão suas vidas negativamente ao tornar a agricultura mais imprevisível, acentuar processos de desertificação e aumentar a dependência direta de recursos hídricos (OXFAM GB, 2009; IPCC, 2014).

A abordagem da vulnerabilidade não se resume à caracterização da propensão aos impactos, mas, sobretudo, tem como fim compreender as conexões e relações que levam à adaptação (LINDOSO, 2013) e construção da resiliência. Nesse aspecto, a abordagem da vulnerabilidade assume tanto um papel de arcabouço conceitual quanto analítico como apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Arcabouço analítico da vulnerabilidade aplicado à SMSF

	Sistema socioecológico	
	Sistema ecológico	Sistema social
Exposição (vetores externos provocam estresse ou impactos)	Extremos climáticos (estiagens, inundações); Desmatamento.	Econômicos (crises); Sociais (conflitos, insegurança fundiária); Políticos (dependência de programas governamentais e subsídios).
Sensibilidade (vetores internos determinam a propensão do sistema a ser afetado pelos estresses)	Qualidade do solo, topografia, hidrologia	Pertença a grupos sociais vulneráveis (comunidades e povos tradicionais, indígenas, quilombolas, mulheres, comunidades rurais pobres). Acesso a serviços básicos (água, energia, saúde).
Capacidade adaptativa (alternativas para transitar entre opções)	Disponibilidade de recursos naturais (fontes de água, fontes de alimentos)	Institucional (capacidade de investimento, infraestrutura) Informacional (educação) Infraestrutura (sistemas de saúde, moradia, estrutura de serviços públicos, projetos de irrigação) Capital social

Fonte: adaptado pela autora de Lindoso (2013)

2.2.2 Resiliência e adaptação

Resiliência

A literatura sobre a resiliência foi historicamente ligada aos campos da ecologia, risco-perigo e redução do risco de desastres, e mais recentemente o seu uso foi expandido aos campos da governança de recursos, mudanças climáticas, desenvolvimento sustentável e mudanças ambientais (GROTHMANN e PATT, 2005; LINDOSO, 2013; DJALANTE e THOMALLA, 2010).

Em trabalho seminal, Holling (1973) descreve a resiliência em sistemas ecológicos como a propriedade que mede a “persistência de sistemas, sua capacidade de absorver mudanças e perturbações e ainda manter suas relações com outras populações e variáveis de estado”. A resiliência contrasta com a estabilidade, no sentido de que a primeira pode existir em vários estados e ser estável em vários níveis. A estabilidade, para Holling, se refere à capacidade de um sistema retornar ao mesmo equilíbrio após um desastre. A capacidade de um sistema de retornar a um estado estável, em vez de ficar imune a um distúrbio, reforça a discussão da resiliência como processo e resultado (SALIGNAC *et al.*, 2019). A utilidade dessa ideia foi aplicada a vários campos relacionados ao desenvolvimento sustentável.

A terminologia sobre redução de risco de desastres descreve a resiliência como a capacidade de um sistema (socioecológico, sociedade, ecossistema ou comunidade) de resistir, absorver e acomodar os efeitos de um perigo de maneira oportuna e eficiente (UNISDR, 2009). Esse conceito adotado pela United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR) é de particular importância por se tratar de um fórum importante que agrega conhecimentos científicos relevantes e atuais.

Na pesquisa da emergência climática, a resiliência dos sistemas socioecológicos às mudanças climáticas e a eventos extremos se refere à magnitude do distúrbio que o sistema é capaz de absorver antes de passar para um estado de estabilidade radicalmente diferente (ADGER, 2006). Essa mudança é descrita em termos de um grupo de premissas: a estabilidade de vários estados da resiliência (a capacidade do sistema de existir em diferentes configurações); a posição do sistema nesse domínio de estabilidade multiestado (determinado por parâmetros que oscilam de acordo com distúrbios); os limiares implícitos e pontos de inflexão entre mudanças de estado; e a histerese (o entendimento de que os caminhos, variáveis e limites necessários para um sistema passar do estado de estabilidade A para o estado B são diferentes daqueles demandados para passar de B para A) (SCHEFFER *et al.*, 2001).

O IPCC define resiliência como a capacidade de um sistema para lidar com um distúrbio, respondendo ou se reorganizando, a fim de manter suas funções originais fundamentais e sua capacidade de adaptar, aprender e transformar (IPCC, 2014). No contexto de emergências climáticas e eventos extremos, é determinada pelos recursos disponíveis no sistema afetado e por sua capacidade de se organizar antes e durante uma crise. Nesse sentido, a resiliência está intimamente ligada ao grau de desenvolvimento e às capacidades de um sistema.

A literatura sobre riscos e desastres naturais traz o elemento das escalas para a conceituação da resiliência, de modo a entender os impactos em magnitudes globais, nacionais, regionais e locais. A abordagem da resiliência também é aplicada a desastres de curto prazo (por exemplo: terremotos, tsunamis, eventos climáticos extremos) e fenômenos a longo prazo (por exemplo: mudanças climáticas, secas e desertificação) (DJALANTE e THOMALLA, 2010). Na escala das comunidades, é descrita como um conjunto de capacidades em rede relacionadas ao desenvolvimento econômico, capital social, informação e comunicação, e competência da comunidade (BROWN e WESTAWAY, 2011; NORRIS *et al.*, 2008)

A resiliência é dependente do acesso a ambos os recursos internos (por exemplo: habilidades cognitivas, contexto social, capacidade de lidar com o estresse) e externos (por exemplo: crédito e relacionamentos), e de quão facilmente acessíveis e robustos eles são (SALIGNAC *et al.*, 2019)

Adaptação

A abordagem da vulnerabilidade tem claros objetivos – o de redução da vulnerabilidade e proteção dos sistemas sociais e ecológicos – e, portanto, seu entendimento tem como fim compreender caminhos que levam à adaptação. A adaptação é amplamente definida como os ajustes aos impactos do clima atual ou esperado e seus efeitos (IPCC, 2014).

Lindoso (2013) atenta para duas abordagens em torno das quais transitam as conceituações de adaptação: a vulnerabilidade e a resiliência. Pelo lado da resiliência, Adger (2009) entende a adaptação como a redução do impacto de perturbações externas que promovem a resiliência. (ADGER *et al.*, 2009). O IPCC (2014) utiliza relação similar para definir a adaptação de sistemas naturais, na qual intervenções humanas podem facilitar o ajuste a mudanças esperadas. Essa hierarquia (adaptação que favorece a resiliência) também é defendida por Gallopín (2006). Pelling, no entanto, coloca a resiliência apenas no primeiro nível de um processo multinível de adaptação, seguida pela transição e pela transformação (PELLING, 2011).

Pelo lado da vulnerabilidade, por meio da mobilização de recursos, a adaptação mitiga a vulnerabilidade ao reduzir a sensibilidade e fortalecer a capacidade adaptativa de um sistema (LINDOSO, 2013; ADGER *et al.*, 2009). Este conceito se aproxima daquele usado pelo IPCC para definir a adaptação em sistemas humanos, que define que o propósito da adaptação é evitar prejuízos e explorar oportunidades positivas.

A capacidade de enfrentamento (*coping capacity*), por sua vez, é considerada em distintas taxonomias da adaptação a resposta menos sofisticada aos riscos ambientais, geralmente colocada próxima aos pontos de não-retorno e de danos irreversíveis às funções de um sistema (PELLING, 2011; VAN BEEK e ARRIENS, 2000; BROWN e WESTAWAY, 2011). Na concepção de Paulo Freire, a capacidade de enfrentamento está relacionada à desumanização das pessoas que apenas vivem, não existem, se eles não podem ser agentes que transformam o mundo a sua volta (FREIRE, 1987). Entende-se assim a capacidade de enfrentamento como um aspecto do “aqui e agora”, os recursos imediatos disponíveis àqueles em risco (BIRKMANN *et al.*, 2013). Ao passo que ciclos de adaptação implicam em melhorias graduais e mudanças estruturantes de um sistema, suas funções e organização (KELLY e ADGER, 2000), ciclos de enfrentamento estão mais relacionados ao ajuste dos modos de vida à tolerância e convivência com um perigo (PELLING, 2011).

2.2.3 Mudanças e desafios da crise climática⁴

Existe amplo consenso na comunidade científica global sobre a influência da ação antrópica nas alterações do clima. No entanto, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC), principal instituição que concentra as pesquisas sobre o tema, define mudanças climáticas como quaisquer alterações no estado do clima que podem ser identificadas por mudanças na média ou na variabilidade de suas propriedades que persistam por longos períodos, sejam elas de origem antrópica ou natural (PACHAURI *et al.*, 2014). Neste sentido, mudanças climáticas podem, portanto, ser causadas por forçamentos externos, processos naturais internos ou mudanças persistentes causadas pelos sistemas humanos na atmosfera no uso da terra (PACHAURI *et al.*, 2014). Esta definição difere daquela defendida pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), que separa as mudanças climáticas da variabilidade natural do clima: o primeiro termo se refere às mudanças no clima atribuídas direta ou indiretamente às atividades humanas que alteram

⁴ O uso deliberado de linguagem mais forte também neste manuscrito foi adotado para refletir narrativas atuais (CARRINGTON, 2019; STEFFEN *et al.*, 2018) que entendem que ações mais urgentes são necessárias e que a percepção trazida pela denominação ‘mudanças climáticas’ estimula mudanças graduais sem transmitir esta mensagem adequadamente.

a composição da atmosfera global. Portanto, elas se somam à variabilidade natural do clima observada em períodos comparáveis de tempo, atribuída a causas naturais (UNFCCC, 1992). Em sua tese, Lindoso (2013) não se atem à discussão das principais causas, mas pressupõe a ligação entre as atividades humanas após a revolução industrial e a variabilidade climática para valores além de sua dinâmica natural. Publicações mais recentes atentam para a adoção dos termos emergência climática, urgência climática e colapso climático, ora de maneira intercambiável, ora como forma de escalar o uso tradicional curricular do termo mudanças climáticas (CARRINGTON, 2019; RODE, 2019; GILLS e MORGAN, 2019; VOOSSEN, 2019).

Os últimos relatórios produzidos pelos grupos de trabalho do IPCC reconhecem *com segurança* a ação humana como maior causadora de mudanças nos sistemas climáticos, sobretudo pela emissão de gases de efeito estufa cujas principais fontes são o uso de combustíveis fósseis, além dos impactos das mudanças no uso da terra. Estas mudanças, principalmente relacionadas ao desmatamento, reduzem a capacidade de sequestro de carbono (PACHAURI *et al.*, 2014), dados que se confirmam no Brasil segundo últimas avaliações de desmatamento, com exceção do bioma da Mata Atlântica (MCTI, 2016; AGÊNCIA BRASIL, 2019).

Estima-se que atividades antropogênicas sejam responsáveis por um aquecimento global de cerca de 1,0°C acima dos níveis pré-industriais e que, em se mantendo o ritmo de aquecimento anual (a uma taxa de 0,2°C por década), este valor deverá alcançar 1,5°C entre 2030 e 2052 (IPCC, 2018). Ainda que esforços para limitar o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera consiga atingir valores líquidos negativos, os efeitos dos incrementos passados dificilmente seriam revertidos, como no caso da perda de biodiversidade ou acidificação dos oceanos. Ecossistemas terrestres, aquáticos e marinhos tiveram alteradas suas características de forma irreversível, bem como impactos nos sistemas econômico e social humano atribuídos em maior ou menor grau às mudanças climáticas (STEFFEN e ELIOTT, 2004; IPCC, 2014).

As consequências serão sentidas na forma de alterações nas normais de precipitação e temperatura, assim como na frequência e magnitude de eventos climáticos extremos (LINDOSO, 2013; PACHAURI *et al.*, 2014; IPCC, 2018). Destacam-se cinco ‘razões para preocupação’ que deverão atingir níveis de riscos e impactos muito severos, com consequências irreversíveis: sistemas únicos e ameaçados; eventos climáticos extremos, distribuição dos impactos, impactos globais agregados e eventos singulares de grande escala (IPCC, 2018). Dentre os principais efeitos imediatos estão o acelerado aumento das temperaturas médias globais da atmosfera e dos oceanos, o derretimento de geleiras e neve, com o consequente o aumento do nível dos oceanos (IPCC, 2007;

IPCC, 2018; IPCC, 2013). A crescente frequência de eventos climáticos extremos deverá acarretar também a ocorrência do risco de desastres como secas prolongadas, ou inversamente, a intensificação de tempestades e inundações. Estes efeitos imediatos, por sua vez, são causadores de transformações profundas, geradoras de impactos em cadeia, afetando os sistemas naturais e humanos de maneira indireta (STEFFEN e ELIOTT, 2004; IPCC, 2014). Desdobramentos deverão impactar a saúde humana, modos de vida, segurança alimentar, disponibilidade hídrica, segurança humana e crescimento econômico.

O enfrentamento da crise climática se configura, portanto, em um desafio transversal pela abrangência de causas e impactos. Sua urgência está no fato de que o problema permite pouco tempo para que a humanidade o resolva, uma vez que requer mudanças radicais de comportamento e de paradigmas que vão além do foco único no desenvolvimento de novas tecnologias (GIDDENS, 2010). Ainda, afeta de forma intensa a economia, as infraestruturas e, sobretudo, impacta com severidade as populações mais pobres e os ecossistemas mais frágeis.

Há muito já se discute que as mudanças climáticas estão entre os maiores desafios ao desenvolvimento sustentável, uma vez que exacerbam desigualdades entre pobres e ricos, entre os centros e as periferias (BECK, 2010). Os atuais esforços de enfrentamento às mudanças do clima ganharam tração depois dos eventos de 2012 e 2015, com os desdobramentos da Rio+20 e lançamento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), além da Conferência das Partes que resultou no Acordo de Paris (UNITED NATIONS, 2015; UN GENERAL ASSEMBLY, 2015). Movimentos liderados sobretudo por jovens em todo o mundo deram voz e ajudaram a trazer as urgências climáticas para o centro dos principais fóruns que debatem o desenvolvimento, como o Fórum Econômico Mundial (SWANBOROUGH, 2019; WEF, 2020). O recente Relatório dos Riscos Globais 2020 classifica os riscos ambientais (como a perda de biodiversidade, fracasso das ações contra a mudança do clima, eventos extremos e desastres) e sociais (dentre estes as crises hídricas, a insegurança alimentar e os movimentos migratórios) como os definidores de risco global de maior probabilidade de ocorrência e mais alto impacto.

No entanto, as preocupações na esfera científica não necessariamente se refletem nas pautas política e econômica. O comportamento de desconto do futuro, em que a percepção da severidade de impactos é reduzida pela distância temporal (GIDDENS, 2010), somado aos discursos céticos, impedem a discussão do tema no centro das agendas políticas. Uma análise de discursos negacionistas do clima em nível local sugere que estes se baseiam em política muito mais que na ciência, como em conspirações de manipulação da ciência para favorecer a expansão do Estado, em oposição à adoção

de energias renováveis e de taxas sobre o uso de energia e no medo de abuso de poder por parte do governo (JACQUES e KNOX, 2016). Por outro lado, o desafio de dissociar fatores econômicos e sociais dos impactos de mudanças biofísicas de um sistema na avaliação da vulnerabilidade, associada à invisibilidade dos efeitos das mudanças climáticas no curto prazo dificulta a priorização das ações voltadas para a sua mitigação e adaptação. A falta de clareza desta relação é frequentemente uma barreira à avaliação de riscos em níveis regional e local. A seção a seguir busca na literatura as conexões entre as mudanças globais e seus impactos em distintas escalas, de forma a facilitar o entendimento e o estudo da vulnerabilidade nos municípios da SMSF.

2.2.4 Sistemas e limites globais, interações complexas e cadeias de impactos

O antigo International Geosphere-Biosphere Program (IGBP) já em 2004 alertava para o fato de que os impactos das atividades humanas no sistema terrestre não ocorrem de maneira isolada, nem possuem relação exclusiva de causa e efeito. Uma única mudança é capaz de acionar um grande número de respostas do sistema terrestre, que reverberam entre si ou cascateiam seus efeitos, frequentemente fundindo seus impactos às variabilidades naturais da Terra (STEFFEN e ELIOTT, 2004).

Mesmo que parte dos efeitos possam ser anulados, os impactos dos forçamentos humanos poderão ter suas consequências amplificadas pelas relações entre si e pelas respostas do sistema terrestre. Com base nesta interconectividade dos processos globais estabelecidos no Antropoceno, o Centro de Resiliência de Estocolmo se dedicou à influente pesquisa que busca identificar e quantificar limites planetários (Figura 2.3): processos do sistema terrestre que, uma vez ultrapassados, poderão causar mudanças ambientais irreversíveis que podem ameaçar a vida humana no planeta (ROCKSTRÖM *et al.*, 2009).



Figura 2.3 - Limites planetários

Fonte: Criado por J. Lokrantz/Azote baseado em Steffen et al. (2015).

Os autores propõem uma abordagem que defina as pré-condições essenciais para o desenvolvimento humano na Terra, baseada em três questões principais: a escala da ação humana em relação a capacidade da Terra de suportá-la; a necessidade de se entender processos terrestres essenciais e a pesquisa da resiliência terrestre e suas interações dinâmicas e complexas, processos de auto regulação e seus limites (STEFFEN *et al.*, 2015; ROCKSTRÖM *et al.*, 2009). A pesquisa identifica nove limites planetários: fluxos biogeoquímicos, acidificação dos oceanos, carga de aerossóis na atmosférica, depleção do ozônio estratosférico, mudança global do clima, integridade da biosfera, mudanças no uso da terra, uso de água doce, além de novas entidades ainda não reconhecidas. O trabalho de quantificação destes limites se deu em duas frentes: primeiro, a valoração dos limites em si, que não devem ser ultrapassados dentro dos quais está o espaço seguro de operação da humanidade. Segundo, a identificação do quão longe (ou quão perto) o sistema terrestre está desses limites. Dois limites já foram ultrapassados e se encontram em zona de risco para a humanidade: a

integridade da biosfera e os ciclos biogeoquímicos de nitrogênio e potássio. As mudanças do clima do uso da terra se encontram em zonas de incerteza e crescente risco. Dois limites (aerossóis atmosféricos e novas entidades) ainda não foram quantificados, enquanto os demais se encontram em zona segura, abaixo dos limites.

O conhecimento destes limites permite balizar as atividades humanas que mais afetam os sistemas terrestres, como a agricultura altamente industrializada e a forte dependência dos combustíveis fósseis. Em pesquisa fortemente sinérgica, Kate Raworth discute novos paradigmas para a economia, advogando um novo ponto de partida para a percepção de prosperidade, ideia também defendida por Rees (2014). Raworth acrescenta aos limites planetários os alicerces sociais mínimos necessários ao pleno alcance dos direitos humanos (RAWORTH, 2017). A figura da economia *doughnut* (ou a rosca da economia - Figura 2.4) vem deste espaço possível para o crescimento econômico colocado entre círculos concêntricos e não apenas os limites superiores propostos pelos limites planetários.

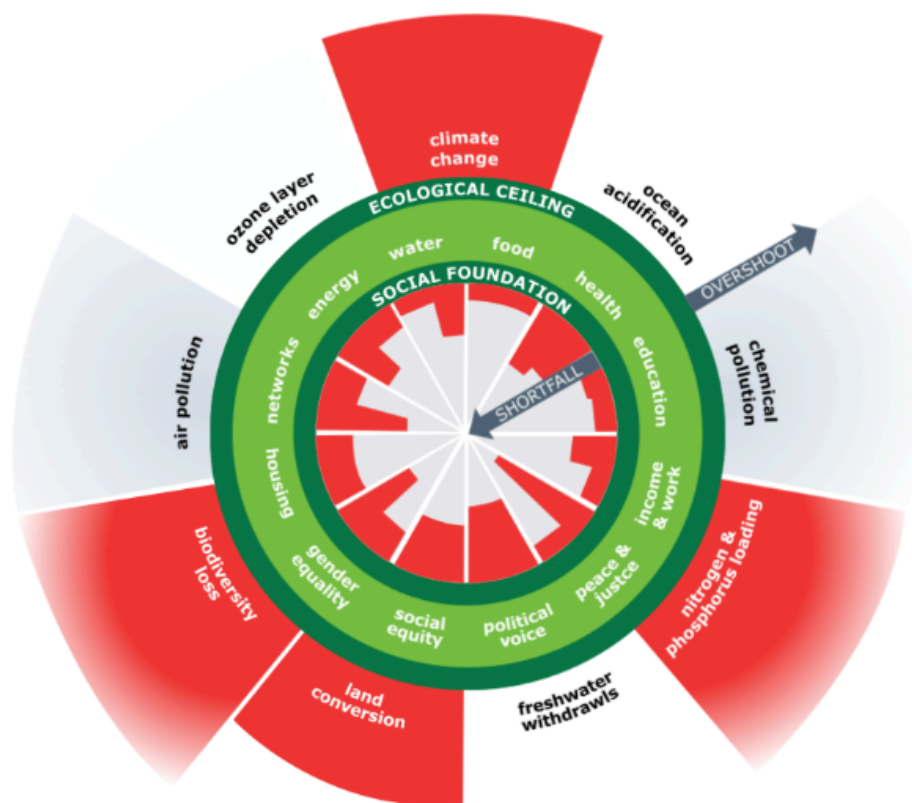


Figura 2.4 - Rosca (*doughnut*) dos limites sociais e planetários

Fonte: Raworth (2017)

O círculo interior deste espaço é delimitado pelos alicerces sociais como água, alimento, saúde, educação, trabalho e renda, paz e justiça, voz política, equidade de gênero, moradia, redes, energia e equidade social. O círculo exterior é limitado pelos limites planetários (ou teto ecológico): mudanças do clima, diversidade genética e funcional, mudança dos sistemas terrestres, uso de água, fluxos biogeoquímicos, acidificação dos oceanos, contaminação atmosférica por aerossóis e depleção estratosférica da camada de ozônio, além de novos acontecimentos ainda desconhecidos pela ciência (RAWORTH, 2017; STEFFEN *et al.*, 2015).

De forma complementar, a busca pelos sistemas terrestres mais vulneráveis que sofrerão mudanças mais cedo e de forma provavelmente irreversível levou à identificação de pontos de não-retorno (do inglês *tipping points*), processos de retroalimentação (*feedback*) e as interações complexas entre ambos. Os pontos de não-retorno se referem a posições no sistema em que pequenos acréscimos de forçamentos externos agem como gatilhos para mudanças internas que provocam mudanças em todo o sistema, frequentemente de forma rápida, inesperada e irreversível (SCHELLNHUBER, 2009). Os *feedbacks*, por sua vez, são processos dentro de um sistema que podem acelerar (*feedbacks* positivos) ou retardar (*feedbacks* negativos) uma mudança no sistema causada por um fator de forçamento externo (ANDERIES *et al.*, 2013). Nem todos os processos de feedback tem pontos de não-retorno, podendo ser lentos e graduais, ao mesmo tempo que nem todos os pontos de não-retorno retroalimentam o sistema para provocar mais mudanças. Ainda, pontos de não-retorno podem apresentar fluidez e mobilidade, variar no tempo e no espaço (ANDERIES *et al.*, 2013; LENTON e WILLIAMS, 2013), reforçando a ideia do comportamento e das interações não-lineares dos processos e limites terrestres (STEFFEN e ELIOTT, 2004). A floresta amazônica, por exemplo, possui múltiplos elementos de não-retorno e retroalimentação identificados que, se ultrapassados, provocariam significativas alterações qualitativas em seus ecossistemas para se tornarem, possivelmente, ecossistemas não florestais. Estima-se que o desmatamento sozinho teria seu ponto de não-retorno na faixa de 20 a 25% de área convertida para a agropecuária (LOVEJOY e NOBRE, 2018). As mudanças climáticas, por sua vez, têm seu ponto de não-retorno no aumento de 3 a 4°C na região amazônica na ausência de outros fatores (NOBRE e BORMA, 2009). No entanto, a retroalimentação entre estes fatores modifica de forma substancial os limites discutidos. Os objetivos do Acordo de Paris de manutenção do aquecimento global abaixo de 2°C reduzem o potencial de desmatamento a valores muito menores que 25% da área total. Já limite desejado para o aquecimento de até 3°C reduz essa área a praticamente zero (STEFFEN, 2019; LOVEJOY e NOBRE, 2018).

Em princípio similar que busca compreender e elucidar o desdobramento das mudanças globais em efeitos locais, o grupo de pesquisa do Potsdam Institute for Climate Impact Research, utiliza o conceito de cadeias de impacto para estruturar a informação relacionada aos impactos climáticos (CI:GRASP, sem data). Em sua plataforma virtual ‘Climate Impacts: Global and Regional Adaptation Support Platform’ (ci:grasp) estão reunidos estudos de caso que ilustram cadeias de impacto que permitem o entendimento de como os estes impactos interagem entre si e se propagam em um sistema socioecológico, como o exemplo da Figura 2.5 a seguir.

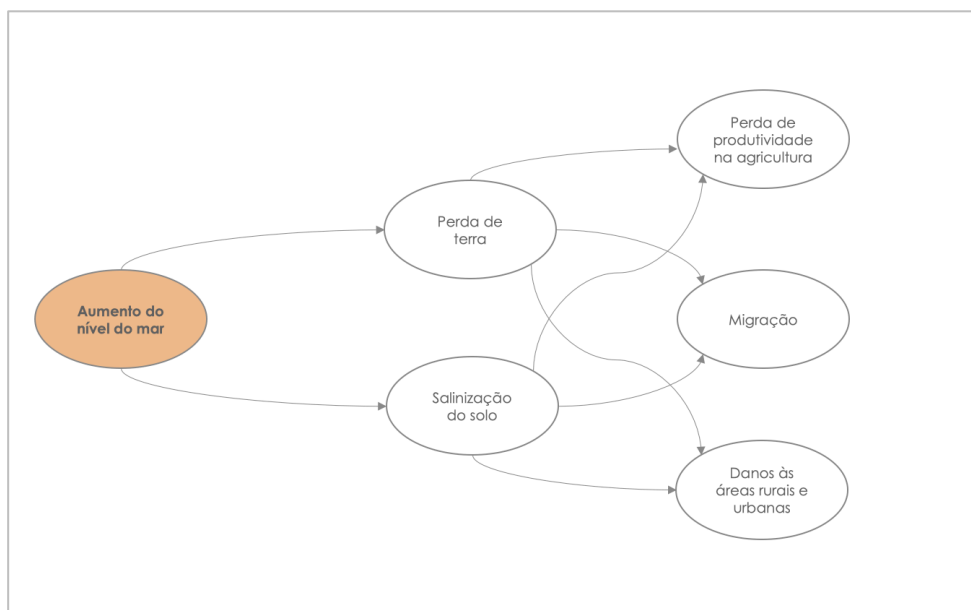


Figura 2.5 - Cadeia de impacto do aumento do nível do oceano para determinado sistema socioambiental

Fonte: adaptado pela autora com base em (CI:GRASP, sem data)

A cadeia de impacto climática é, neste caso, a representação geral de como um estímulo climático se propaga em um sistema de interesse, por meio dos impactos diretos e indiretos envolvidos (CI:GRASP, sem data). O estímulo é representado na elipse à esquerda e os impactos são conectados por setas. Um estímulo pode estar conectado a mais de um impacto, bem como impactos podem estar conectados a mais impactos. Esta representação permite visualizar a complexidade da relação entre os efeitos das ações humanas e seus impactos, que podem ser multiplicados e desdobrados em efeitos significativos para a escala local. Ela evidencia também a importância do conhecimento de toda a cadeia para o planejamento das atividades de adaptação e elaboração de políticas a partir de decisões bem-informadas.

2.2.5 A nova agenda do desenvolvimento sustentável

A erradicação da pobreza extrema e da fome estão no centro das agendas de desenvolvimento sustentável no século XXI, com forte destaque para os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM) e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). A Agenda, que estabelece metas de proteção dos sistemas socioecológicos e de equidade, se consolidou como o maior esforço coletivo pela sustentabilidade da contemporaneidade (UN GENERAL ASSEMBLY, 2015). Ela traz três novos aspectos que moldam esse movimento do desenvolvimento sustentável no mundo: modelos de governança baseada em objetivos, o entendimento de que o desenvolvimento sustentável está limitado à capacidade dos sistemas terrestres e o foco em inclusão (LOPES *et al.*, 2020). Um quarto aspecto relevante está na ênfase dada ao entendimento das interligações entre os objetivos, que produzem externalidades positivas e negativas entre si.

As lições aprendidas com o resultado dos ODM foram definidoras da nova Agenda 2030, que tem a inclusão como parte central do programa com o lema “não deixar ninguém para trás” (UN GENERAL ASSEMBLY, 2015). Os ODM marcaram um novo momento em que a cooperação internacional atingiu os resultados a que se propôs, depois de tentativas frustradas como o Protocolo de Quioto (DASANDI, HUDSON e PEGRAM, 2015). Os objetivos relacionados à pobreza, fome, saúde e educação foram alcançados, mas os benefícios foram marcados por um desequilíbrio geográfico e pela manutenção das desigualdades de renda, saúde e educação entre os ricos e pobres, entre os ambientes rural e urbano (UNITED NATIONS, 2015). Do aprendizado desses resultados vieram as metas dos ODS que buscam incluir principalmente os mais excluídos e vulneráveis.

O sucesso obtido pelos ODM e a forte adesão aos ODS em parte se devem a um novo modelo de governança baseado em objetivos (em oposição aos modelos normativos propostos em esforços passados) e em acordos não vinculantes que facilitaram as negociações e o estabelecimento de metas globais comuns (SACHS, 2012; UN SDSN, 2015). Esse novo modelo contrasta com os desdobramentos dos grandes eventos e programas dos anos 1990 cujas metas não foram alcançadas. Estão entre eles a Cúpula da Terra e o próprio Protocolo de Kyoto, que propuseram detalhadas agendas programáticas e normativas que encontraram dificuldades na capacidade de implementação e legitimação entre países-membros (DASANDI, HUDSON e PEGRAM, 2015; UNITED NATIONS, 1992). A nova agenda flexibiliza o caminho para que as metas sejam atingidas conforme o contexto. Como consequência, a localização dos objetivos em escalas menores deu capilaridade e trouxe o desenvolvimento sustentável a esferas que pudessem atingir os mais vulneráveis.

O reconhecimento dos limites planetários permeia os ODS, que segue conceituações mais recentes do desenvolvimento sustentável: suprir as demandas do presente resguardando os sistemas de suporte à vida na Terra, dos quais dependem as gerações atuais e futuras (GRIGGS *et al.*, 2013). Esse conceito rompe com as definições tradicionais da sustentabilidade fraca e do trinômio economia-ambiente-sociedade, que considerava a possibilidade de geração ilimitada de riqueza e bem-estar. A noção do desenvolvimento que considera avanços mais recentes das pesquisas como os limites planetários, os pontos de não-retorno e processos de retroalimentação do sistema terrestre e a natureza multiescalar dos recursos comuns (STEFFEN *et al.*, 2015; STEFFEN, 2019; ROCKSTRÖM, *et al.*, 2009; DURAIAPPAH *et al.*, 2014; SCHELLNHUBER, 2009) colocou em evidência abordagens integradas que consideram os *trade-offs* e sinergias entre os distintos temas relacionados ao desenvolvimento sustentável (ICSU, 2017).

Nesse contexto, observa-se a forte sinergia entre a Agenda 2030 e a abordagem *nexus* água-energia-alimento. Dentre os 17 objetivos da Agenda estão temas fortemente relacionados como a fome e a pobreza, a saúde e o saneamento, as mudanças climáticas, os ecossistemas e o crescimento econômico (UN GENERAL ASSEMBLY, 2015). Nilsson, Griggs e Visbeck, por exemplo, reforçam a importância de integrar políticas e ações de modo que formuladores saiam dos “silos setoriais” em que operam (NILSSON, GRIGGS e VISBECK, 2016), de maneira muito próxima ao que se advoga na abordagem *nexus*.

2.3 ARCABOUÇO ANALÍTICO

2.3.1 Problemática da abordagem *Nexus*: o desafio da governança dos novos comuns

A governança dos comuns é um dos temas mais debatidos na comunidade acadêmica desde a publicação de *Tragedy of the Commons* descrita por Hardin (1968). O autor argumenta que a degradação dos bens comuns é inexorável diante da natureza do atual pensamento econômico das sociedades que buscam a maximização dos lucros, a privatização dos benefícios e a socialização dos custos; da ausência de cooperação; das perspectivas de interações futuras e do rápido crescimento populacional (HARDIN, 1968; AXELROD, 1981). Dentre as principais respostas a este desafio está o *drama dos comuns*, em que Ostrom propõe que o uso dos recursos seja governado por instituições fortalecidas que devem intervir de modo a promover uma distribuição equânime e sustentável de seus serviços (NATIONAL RESEARCH COUNCIL; OSTROM, E., 2002). No entanto, a aclamada solução proposta por Ostrom encontra limitações na aplicação a distintas escalas, sendo bastante

relevante para escalas menores e contextos locais, enquanto as preocupações postas por Hardin permanecem válidas para escalas regionais e globais (ARARAL, 2014).

Recentemente, a questão das escalas foi abordada na discussão dos *new commons* (traduzido livremente para os novos comuns): um mosaico espacial que envolve território, água e clima, bem como seus níveis de suporte e serviços prestados pela biodiversidade e pelos ecossistemas na manutenção dos recursos necessários à construção do bem-estar humano (DURAIAPPAH *et al.*, 2014). Esta nova definição aborda a complexidade dos processos e funções que transcendem fronteiras sociais, propriedades de sistemas e jurisdições políticas. Esta discussão traz consigo dois desafios centrais: a dissonância cognitiva e a dependência entre os ecossistemas e suas distintas escalas.

A dissonância cognitiva descreve as incompatibilidades relacionadas à natureza multidimensional e inconsistente dos impasses que permeiam as ações humanas: tensões internas que definem os processos de escolha em função de necessidades contraditórias, como as decisões sobre o uso de recursos e serviços ecossistêmicos para geração de bem-estar (por exemplo, serviços de provisão em detrimento dos serviços de regulação) (DURAIAPPAH *et al.*, 2014; ELMQVIST *et al.*, 2011).

O caráter multiescalar dos serviços ecossistêmicos, por sua vez, afetam as interações nos sistemas socioecológicos. Serviços de provisão (alimento e madeira, por exemplo) são fornecidos em nível local e dependem em sua maioria de recursos e funções locais. Serviços de regulação, como clima, regulação e purificação da água, ainda que sejam fornecidos em nível local, dependem de funções e processos ecossistêmicos cujas fronteiras são influenciadas em escalas maiores, em função da paisagem ou mesmo de processos globais. Contesta-se, portanto, a capacidade das instituições de função de alocação (que determinam como o capital natural é empregado, de maneira eficiente e eficaz: seja por meio de regras informais em uma comunidade ou por sistemas fundiários que regulam o acesso a recursos comuns, por exemplo) e das instituições de função distributiva (cujas atribuições incluem estruturas formais ou informais que regulam a distribuição dos serviços e recursos em distintas escalas), dada a incompatibilidade entre as jurisdições e *modus operandi* destas instituições e as reais demandas por recursos e serviços.

A abordagem *Nexus* busca resolver estas incompatibilidades de escalas ao propor uma análise transdisciplinar das forças que competem entre si e determinam como os recursos comuns são utilizados em múltiplas escalas pela perspectiva da redução dos custos de transação. Ao avaliar suas distintas escalas e dimensões, busca-se a compreensão de como o uso dos recursos hídricos pode

afetar a sensibilidade dos povos e comunidades locais para além da racionalidade econômica, de modo a contribuir para o enfrentamento das mudanças climáticas e para a construção de sistemas socioambientais mais resilientes.

O contexto da governança dos novos comuns é bastante relevante na análise do SMSF. Os impactos das mudanças climáticas sentidos na região sob a forma de redução na precipitação e aumento nas temperaturas são resultado de estímulos gerados em outras escalas, além dos limites da bacia. A gestão dos recursos hídricos, por meio do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF) e a agência executora (AGB-Peixe Vivo) busca transpor os limites políticos e discutir os temas na escala da bacia. No entanto, enfrenta o desafio de dar voz aos mais vulneráveis e atender as necessidades conflitantes dos usuários de distintas escalas e interesses. As definições conflitantes, como as decisões entre barramentos e vazões mínimas tem impactos significativos aos que dependem do rio para o exercício de seus modos de vida.

2.3.2 Abordagem *Nexus* água-energia-alimento

A abordagem de pesquisa *Nexus* tem se consolidado na ciência por trazer um novo paradigma que substitui o viés econômico tradicional de minimização de custos e maximização de lucros, buscando por sua vez melhorar as interações entre setores e otimizar a utilização de recursos (VON BRAUN e MIRZABAEV, 2016). Caracteriza-se como uma estrutura conceitual que reconhece a interconectividade entre setores que, de forma conjunta, determinam os atributos dos sistemas humanos e naturais que são objeto de estudo e criam sinergias potenciais e *trade-offs* complexos (HOFF, 2011; RINGLER, 2013). Sob a perspectiva de minimizar os custos de transação, busca otimizar as externalidades (custos ou benefícios que afetam uma parte do sistema que não pagou pelos benefícios nem recebeu pelos custos), minimizando as externalidades negativas para reduzir *trade-offs*, ao mesmo tempo que maximiza sinergias para promover externalidades positivas entre setores (VON BRAUN e MIRZABAEV, 2016; HOFF, 2011)

Este paradigma de uma nova economia institucional (tradução livre de *new institutional economics*) (VON BRAUN e MIRZABAEV, 2016) se caracteriza por objetivos e aspectos chave que o diferenciam de abordagens tradicionais. Ao passo que uma abordagem holística se torna demasiadamente extensa, com a análise de sistemas e políticas que incluem variáveis que ultrapassam a capacidade de controle e os recursos destinados à pesquisa (HUSSEY, PITTOCK e DOVERS, 2015), a pesquisa de foco único é demasiadamente míope, ainda que tenha tradicionalmente contribuído de maneira inquestionável ao entendimento do funcionamento de sistemas. Assim, a

abordagem *Nexus* seleciona os aspectos mais importantes que determinam os impactos sobre o sistema natural ou humano que é o objeto de estudo e se caracteriza por objetivos que revolvem em torno da otimização do uso de recursos, políticas públicas e investimentos públicos entre distintos setores, da identificação do contexto econômico ótimo que favoreça ações do setor privado, da sociedade civil e de consumidores (RASUL e SHARMA, 2016). Atua, nesse sentido, na direção de remover falhas de mercado e reduzir desigualdades de recursos e poder.

Por meio da ação conjunta e coordenada, tem forte característica transdisciplinar, promovendo a pesquisa científica para além do conhecimento compartimentalizado e trazendo para o centro das ações os atores que possuem interesses ou são afetados pelo tema. É, portanto, multisetorial e multiescalar: enquanto as escalas regional e local se apresentam críticas na formulação de políticas públicas, a escala domiciliar tem criticidade na avaliação do bem-estar humano. Assim, para o estudo proposto, os dados em nível municipal associados aos indicadores municipais sobre domicílios e famílias poderão subsidiar as análises.

A abordagem tem sido utilizada para a avaliação de setores e recursos no enfrentamento dos desafios ambientais, sobretudo na dimensão dos recursos hídricos no nexo entre as seguranças energética e alimentar. No entanto, ganhou território também na avaliação da interconectividade entre distintos objetivos e metas, ou ainda de dimensões que em conjunto definem as características de um sistema. O estudo do nexo entre dimensões tem se fortalecido sobretudo com fins de desenvolvimento de política pública para meio ambiente, saúde e bem estar; pobreza, exclusão e ecologia (GALDERISI, 2017); capital social, ação coletiva e recursos hídricos (BISUNG, 2015).

A abordagem recebeu diversas críticas desde sua concepção. Destacam-se os questionamentos sobre a autenticidade e real contribuição trazidos pela abordagem que muito se assemelha à já desenvolvida Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) (FAO, 2014). No entanto, a centralização da GIRH nos recursos hídricos prioriza o setor e tem, portanto, um forte viés que negligencia importantes aspectos dos setores energético e alimentar. Simpson e Jewitt questionam ainda a imaturidade da abordagem, a habilidade de incorporar aspectos ambientais e os modos de vida, a arbitrariedade da escolha dos três setores e a habilidade de responder às demandas de redução da pobreza, seguranças de recursos globais e economias sustentáveis (SIMPSON e JEWITT, 2019; ALLOUCHE, MIDDLETON e GYAWALI, 2015; ALLOUCHE, MIDDLETON e GYAWALI, 2019). No entanto, o estabelecimento de um *Knowledge-Action Network* dedicado à pesquisa *Nexus* pela iniciativa coletiva da comunidade acadêmica Future Earth evidencia a força e relevância da abordagem, além da necessidade de desenvolvimento da literatura sobre o tema. A recente publicação

de um relatório de pesquisa e plano de engajamento corrobora a importância da abordagem e, ao mesmo tempo, insiste na demanda por procedimentos metodológicos que facilitem sua operacionalização (FUTURE EARTH, 2018).

2.3.3 Dimensões da abordagem *nexus*: segurança hídrica

Os princípios da Declaração de Dublin estabeleceram as bases para a discussão da gestão de recursos hídricos trazidos à Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Rio 92). Ainda que outras discussões e conferências anteriores tenham abordado o tema de maneira ampla, a criação da Agenda 21 consolidou a aceitação da conexão entre as dimensões do desenvolvimento e a proteção do meio ambiente em escala global (UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY, 1992). Os princípios que descrevem a finitude dos recursos hídricos, a necessidade de governança participativa e o papel central da mulher na gestão e preservação da água demonstram o caráter multidimensional da segurança hídrica, enquanto a atribuição de valor ao recurso enquanto bem econômico reconhece a competição do uso para diversos setores (SOLANES e GONZALEZ-VILLARREAL, 1999; The Dublin statement on water and sustainable development, 1992). Em análise que quantifica a segurança hídrica em diversos usos da água (necessidades básicas, produção agrícola, meio ambiente, gestão de risco e independência), Lautze e Manthritlake (2012) relacionam a segurança hídrica para o atendimento às necessidades básicas com o desenvolvimento econômico, mas não necessariamente com a disponibilidade de água em um país onde as demais dimensões foram atendidas e o grau de independência é alto. Evidenciam-se assim a desigualdade na distribuição e a necessidade de gestão conjunta de distintos setores por meio de governança participativa.

As noções de integração, participação e limites na governança e uso dos recursos hídricos proposta pela abordagem *Nexus* Água-Energia-Alimento é recorrente na literatura sobre a segurança hídrica (NATIONAL RESEARCH COUNCIL; OSTROM, E., 2002; BAKKER e MORINVILLE, 2014; SOLANES e GONZALEZ-VILLARREAL, 1999; VÖRÖSMARTY *et al.*, 2010; COOK e BAKKER, 2012). Bakker e Morinville (2014) identificam aspectos da governança dentro do contexto da segurança hídrica que ilustram estas noções: governança adaptativa, governança policêntrica, aprendizagem social, governança multinível e poder social. Ostrom (2002) reforça que os princípios de instituições auto-governadas robustas devem incluir limites bem definidos e arranjos de escolha coletiva. Estas dimensões evidenciam tanto a conexão da gestão da água com as variações na

qualidade dos serviços ecossistêmicos e consequentes processos de adaptação quanto a influência das dinâmicas e do capital social nas decisões sobre o uso de recursos hídricos.

O conceito de segurança hídrica tem sido abordado por múltiplas disciplinas nas últimas décadas, sobretudo após os anos 2000 (COOK e BAKKER, 2012) e com os crescentes debates sobre os sistemas interligados da biosfera e o fortalecimento da agenda de combate às mudanças climáticas (STEFFEN e ELIOTT, 2004; STEFFEN *et al.*, 2018). A complexidade da governança dos recursos hídricos se reflete na amplitude de aspectos abordados e focos por distintas áreas: acesso, produção agrícola, proteção de perigos, estabilidade de abastecimento com qualidade e quantidade, promoção da saúde e preservação do meio ambiente, entre outros. Ainda que não exista um único conceito que tenha sido apropriado pela literatura por consenso, percebe-se entre as definições mais aceitas uma tendência de abrangência e flexibilidade para abarcar grande parte destes aspectos. A Parceria Mundial pela Água (GWP, do inglês *Global Water Partnership*) apresentou no segundo Fórum Mundial da Água um dos conceitos mais citados na literatura:

“segurança hídrica, em qualquer nível, desde domiciliar a global, significa que cada pessoa tem acesso a água segura suficiente a custo acessível para que conduza uma vida limpa, saudável e produtiva , ao mesmo tempo garantindo que o ambiente natural seja protegido e aprimorado”⁵

(VAN BEEK e ARRIENS, 2000).

A definição desenvolvida por Grey e Sadoff (2007) também aborda aspectos similares das escalas individual e produtiva e as dimensões ambiental, social e econômica, mas adiciona um caráter qualitativo de aceitabilidade da segurança hídrica em termos de qualidade e quantidade, bem como em relação aos riscos às pessoas, ao meio ambiente e à economia. Os autores estendem o conceito para a discussão de que a segurança hídrica se define pelo grau de tolerância aos riscos para a sociedade, em outros termos, para um grau aceitável de insegurança (GREY e SADOFF, 2007; GREY *et al.*, 2013).

Em ampla revisão de como o termo é abordado na literatura, Cook e Bakker (2012) identificaram cinco dimensões que dão suporte à definição da segurança hídrica e que, ao mesmo tempo, são seu próprio objetivo: quantidade e disponibilidade, riscos relacionados à vulnerabilidade e à água, atendimento às necessidades humanas, sustentabilidade e, de forma menos intensa que as demais áreas, a dimensão da água na segurança militar e ambiental (COOK e BAKKER, 2012). Ainda que o foco de abordagens disciplinares da segurança hídrica parta de definições mais próximas da

⁵ Tradução livre do texto original publicado em inglês.

área de estudo de onde surgem (por exemplo, segurança hídrica como estabilidade de fornecimento do insumo para a agricultura e a segurança alimentar nas ciências da agricultura ou a prevenção e avaliação de contaminação da água nos estudos relacionados à saúde pública), existe um reconhecimento da multiplicidade de domínios, escalas e dimensões do conceito. Lautze e Manthrilake (2012), por exemplo, questionam o fato de que a análise da segurança hídrica nestes cinco usos não inclui a segurança nos setores de saúde, nos modos de vida e na indústria.

Em relação à quantidade e disponibilidade, discute-se foco em stress hídrico (perda de água verde e azul⁶) e escassez (sob a perspectiva de demanda, medida pela retirada per capita ou, pelo princípio contrário da oferta, medida pelo número de pessoas que devem compartilhar cada unidade de água retirada).

A questão das escalas se faz novamente fundamental. O aprofundamento dos estudos sobre os aspectos físicos dos ciclos da água na Terra demonstra que fluxos são globais e que seus limites são planetários (STEFFEN e ELIOTT, 2004). Relações de troca local influenciam padrões de uso que podem ter efeitos colaterais em nível global (GREY *et al.*, 2013). Enquanto estudos que exploram o desenvolvimento estão concentrados na escala nacional, avaliações técnicas comumente se concentram nos processos em nível de bacias. As ciências sociais, por sua vez, tendem a se concentrar na escala das comunidades (COOK e BAKKER, 2012). Riscos relacionados à água doce são comumente percebidos sobretudo como um desafio local, pertinente à escala dos assentamentos humanos. Consequentemente, instituições e políticas se dedicam a questões locais como saneamento, acesso à água e irrigação (GREY *et al.*, 2013), comumente desconsiderando seus impactos em outras escalas. A avaliação da segurança hídrica em múltiplas escalas se faz, portanto, essencial. Em análise de risco em estrutura espacial, Vörösmarty identifica as conexões das atividades humanas e funções da biodiversidade à montante e à jusante, desmitificando a percepção de segurança hídrica ao avaliar que 80% da população mundial se encontra em situação de alto risco (VÖRÖSMARTY *et al.*, 2010). Esse resultado demonstra a incompatibilidade das escalas das instituições que levam a decisões equivocadas sobre a governança dos recursos, corroborando os desafios postos pela governança dos novos comuns (DURAIAPPAH *et al.*, 2014). Essa incompatibilidade se evidencia na disparidade presente em estudos de modelagem de processos hidrológicos de bacias: é comum que o escopo

⁶ Falkenmark e Rockström (2006) redefinem um novo paradigma da água verde-azul na gestão e planejamento de recursos hídricos: precipitações pluviais se dividem em recursos de água verde (sob a forma de umidade em zonas não saturadas) e recursos de água azul (rios, lagos, represas, pântanos e brejos). Ambos contribuem para o fluxo do ciclo da água e sua disponibilidade para o consumo humano e funções ecossistêmicas.

geográfico destes estudos se relacione aos limites políticos e não aos naturais (COOK e BAKKER, 2012).

A segurança hídrica e a relação com a disponibilidade de recursos estão no centro da abordagem *nexus* e influencia a maioria das relações entre os três setores, ainda que o próprio paradigma da abordagem imprima esforços para que as avaliações tenham uma perspectiva balanceada e intersetorial.

2.3.4 Segurança energética: o papel na redução da pobreza

O direito de acesso à energia é ao mesmo tempo meio e pré-condição para o exercício do direito ao desenvolvimento e dos direitos humanos (COSTA, 2009). É essencial para a viabilização dos demais direitos, como o direito à vida, à moradia, à água, à inclusão digital, ao trabalho e à alimentação mínima adequada. O acesso à eletricidade é um dos aspectos mais essenciais à vida moderna e é, ao mesmo tempo causa e consequência do desenvolvimento das sociedades (VALOIS COELHO & CARTAXO, 2004).

A literatura não apresenta um consenso sobre o conceito de segurança energética, mas alguns princípios comuns estão por trás da maioria das definições: acessibilidade (tanto física, em função da disponibilidade, quanto econômica), eficiência, sustentabilidade ambiental, aceitabilidade social (SOVACOOOL e BROWN, 2010; NARULA e REDDY, 2016). Sovacool (2016) adiciona que a segurança energética deve incluir ainda questões de governança, equidade e justiça social e confiabilidade, além do contexto dos valores e cultura locais. Essas percepções concordam com o levantamento feito pelo PI SSA, que encontrou que distintas tecnologias e fontes energéticas são usadas em um mesmo domicílio para distintos fins: eletricidade para bombear sistemas de irrigação, lenha para ferver água ou alimentos mais lentos, gás para a cozinha prática do dia-a-dia.

Os grandes saltos de desenvolvimento da sociedade nas eras moderna e contemporânea está diretamente relacionado à evolução das tecnologias de geração de energia (TIGRE, 1997). Ao mesmo tempo que essas tecnologias originaram mudanças profundas nas estruturas social e econômica vigentes, trouxeram também consequências cruéis aos que foram excluídos dos processos evolutivos.

O uso do carvão nas máquinas a vapor está diretamente associado à Primeira Revolução Industrial e ao boom ferroviário dos anos 1830 e 40, provocando movimentos migratórios em busca de oportunidades de emprego e deslocando do campo milhões de pessoas entre 1835 e 1850. Inicialmente visto como uma solução ao desemprego e à pobreza, esta transformação da sociedade trouxe também imenso sofrimento humano, reduzindo os camponeses pobres a uma massa destituída

e desmoralizada (HOBSBAWM, 2015). Ao mesmo tempo, trouxe oportunidades de ascensão sem precedentes aos homens comuns que tiveram acesso aos meios de produção. Neste momento, as primeiras noções de segurança energética se associavam às questões de segurança nacional e às demandas de equipamentos mecanizados de guerra (SOVACOOOL e BROWN, 2010).

A Segunda Revolução Industrial trouxe consigo melhorias na eficiência das tecnologias, mas também a “maldição do petróleo”: a considerável riqueza gerada pelo recurso foi raramente partilhada, potencializou a desigualdade nos principais países produtores e minou democracias (GIDDENS, 2010). Na história, repete-se o paradoxo das oportunidades trazidas àqueles com acesso à energia e aos meios de produção, ao mesmo tempo que se ampliam as desigualdades sociais em relação àqueles que não o tem. Neste momento, a dependência da segurança energética até então centralizada no carvão se transfere em grande parte para a Pérsia (LEUZINGER, 2019).

Novos paradigmas como o intelecto, a ética, o desenvolvimento sustentável, a estética, as emoções, uma nova compreensão das tecnologias, da ciência, do tempo e do espaço caracterizam a sociedade pós-industrial (BECK, 2010; CASTELLS, 2009). O poder que viabiliza a estabilização socioeconômica do indivíduo está ligado à informação, conhecimento e tecnologia (CASTELLS, 2009), mas ainda não foge à essencialidade do acesso à energia.

Rifkin condiciona as oportunidades na Terceira Revolução Industrial às energias renováveis (RIFKIN, 2011). Schwab aponta que a Quarta Revolução Industrial ainda precisa mostrar como pode apoiar o desenvolvimento sustentável e que ainda são desconhecidos os resultados da interação entre novas tecnologias disruptivas e os paradigmas a elas associados, como a inteligência artificial e o aprendizado de máquinas, a internet das coisas, as criptomoedas, a robótica, os veículos autônomos e a impressão 3D, bem como novas práticas como a economia compartilhada e as finanças digitais (SCHWAB, 2016). Em todos os novos avanços, a infraestrutura de energia elétrica exerce um papel fundamental. Mais uma vez, os avanços colocam novas tecnologias e a energia no centro das desigualdades (ALLEN, 2017), uma vez requerem habilidades e a infraestrutura que não estão distribuídas de forma equânime.

Apesar dos esforços mais recentes pela descarbonização e desenergização das economias, o direito à energia, condição indispensável para o acesso às tecnologias e ao conhecimento permanece, portanto, um dos principais pilares para o desenvolvimento socioeconômico e manutenção da sociedade acima da linha de sobrevivência. O mapa da exclusão elétrica no Brasil revelou em 2015 que 90% das famílias sem acesso à energia possuíam renda familiar inferior a três salários mínimos e estavam localizadas sobretudo nas regiões de menor Índice de Desenvolvimento Humano do país

(MME, 2015). Além disso, estima-se que 17% da renda dos consumidores de baixa renda (um salário mínimo) no Brasil seja direcionada à conta de luz (LIMA, 2016). Em média, até 2014, cerca de 10% da população do SMSF não tinha qualquer acesso a energia – mas esse valor chegava a 51% da população de Pedro Alexandre e 41% em Macururé, por exemplo.

As ameaças trazidas pelos efeitos das emissões de carbono advinda da queima de combustíveis fósseis, associadas às previsões de esgotamento das fontes, reforçam a prioridade de políticas e programas que estimulem a transição para energias de fonte renovável. Globalmente, as energias renováveis representam a melhor promessa para atender as demandas de segurança energética que atenda requisitos de igualdade e sustentabilidade, estabilidade e diversificação. O atendimento a áreas em desenvolvimento rurais e remotas deve passar, necessariamente, pela geração de energia de fontes renováveis (UNEP, 2012).

2.3.5 Segurança alimentar

O debate sobre a segurança alimentar também esteve relacionado à soberania de países em momento de conflito, sobretudo após a Segunda Grande Guerra (ASSÃO *et al.*, 2007). O termo cunhado nos anos 1970 estava centrado, a princípio, na cadeia de fornecimento de alimentos, relacionada à disponibilidade e estabilidade de preços nos níveis nacionais e internacionais (FAO, 2006). O conceito se expandiu nos anos 1980 para incorporar também o lado da demanda e o relatório do Banco Mundial de 1986 *Poverty and Hunger* (WORLD BANK, 1986) adicionou a discussão da temporalidade, estabelecendo conceitos essenciais ao monitoramento da fome no mundo. Distinguiram-se a insegurança alimentar crônica, relacionada à estrutura da pobreza e baixa renda continuadas; e a insegurança alimentar transitória, num recorte temporal mais curto e relacionada a interrupções temporárias como em casos de desastres naturais, conflitos e colapso econômico (WORLD BANK, 1986).

O *World Food Summit* realizado em Roma em 1996 marcou o início da maior cooperação global pela erradicação da fome até então. Os 185 países-membros da *Food and Agriculture Organization* (FAO) se comprometeram em combinar esforços para reduzir pela metade o número de pessoas com fome. O encontro originou também um dos conceitos mais utilizados de segurança alimentar:

“Segurança alimentar existe quando todas as pessoas, a todo momento, têm acesso físico e econômico a alimentos suficientes, nutricionalmente adequados e seguros, que atendam às demandas nutricionais e preferências alimentares de modo a propiciar vida ativa e saudável”

(WORLD FOOD SUMMIT, 1966)

Ainda que não haja absoluto consenso sobre uma definição de segurança alimentar, o conceito acima possui ampla aceitação. Ele remete, ainda, às dimensões de disponibilidade (em termos de quantidade suficiente), acesso (*entitlements*, ou recursos para que as pessoas tenham a possibilidade de adquirir alimentos adequados e seguros), utilização (que inclui os insumos necessários à produção de alimentos necessários a uma dieta adequada, água potável e sistemas de saúde para se obter bem-estar nutricional) e estabilidade (segurança contra a interrupção de fornecimento, mesmo em situações de perigos e desastres) (FAO, 2006). Foram incorporadas dimensões de oferta e garantia de acesso, qualidade sanitária, biológica, nutricional e cultural (ASSÃO *et al.*, 2007). Ainda, recaiu nesse momento sobre os Estados a responsabilidade pela garantia da segurança alimentar.

Mooney e Hunt (2010), nesse sentido, chamam atenção para o papel dos estados, das variações normativas e das relações de poder que dominam as políticas internas e minam o aparente consenso sobre a segurança alimentar. Os autores levantam três ramificações da segurança alimentar onde os conceitos e políticas se diferem: segurança alimentar como erradicação da fome, como componente do desenvolvimento e como gestão de riscos e da vulnerabilidade cadeia de alimentos. (MOONEY e HUNT, 2010). Maye e Kirwan distinguem, entre as linhas normativas sobre a produção sustentável de alimentos, as abordagens tecno-científicas de lógica produtivistas dos caminhos alternativos da agroecologia, dos movimentos sociais e das inovações de base (MAYE e KIRWAN, 2013).

No Brasil, as metas do Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional priorizam o acesso universal, a inclusão produtiva de povos e comunidades tradicionais e grupos sociais vulneráveis, a produção sustentável e a agroecologia, a educação alimentar, a prevenção dos agravos decorrentes da má alimentação, a disponibilidade hídrica, a boa governança participativa e intersetorial, a soberania nacional e a cooperação internacional (CAISAN, 2018). Estes valores, no entanto, contrastam com as políticas desenvolvimento baseado no agronegócio retomadas no Brasil desde 2003 que incentivam os grandes produtores de commodities agrominerais (GIRARDI, 2019).

Dois conceitos importantes relacionados completam o arcabouço da segurança alimentar. O primeiro, a segurança da agricultura, se relaciona à disponibilidade e acessibilidade das commodities necessárias para uma vida saudável e produtiva e para uma cadeia de valor da agricultura rentável (IWA/IUCN/ICA, 2015). O segundo conceito se relaciona ao comportamento alimentar da sociedade e ao impacto das dietas nas emissões de gases de efeito estufa, no impacto ambiental da produção e nas perdas (MESQUITA e BURSZTYN, 2018).

A governança do desenvolvimento sustentável por objetivos, iniciada com o estabelecimento dos Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM), trouxe nova força para impulsionar as metas estabelecidas em Roma. A erradicação da pobreza e da fome estavam entre os principais ODM (UNITED NATIONS, 2015; UNSTATS, 2015). Ainda que o objetivo de reduzir pela metade o número de pessoas em situação de fome crônica tenha sido alcançado, o número absoluto de pessoas nesta situação voltou a subir desde então (de 795 milhões em 2015 para 820 milhões em 2017) (FAO, 2019; UNITED NATIONS, 2015). Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que sucederam os esforços iniciados pelos ODM, estabeleceram a meta de zerar o número de pessoas em situação de fome no mundo. Dentre os caminhos para assegurar a segurança alimentar, reconhece que a falta de acesso a energia elétrica é uma barreira fundamental ao alcance desta meta, e que o fim da “pobreza energética” é essencial para que o mundo possa produzir alimentos para garantir demandas futuras (UNITED NATIONS, 2020). Chama ainda atenção para mais aspectos da segurança alimentar: a perda de biodiversidade e da diversidade de culturas, o papel da agricultura e dos pequenos produtores como maiores empregadores do mundo, o valor da produção e consumo locais e o importante papel das mulheres na redução da fome.

2.4 CONVERGÊNCIAS CONCEITUAIS E ANALÍTICAS

Ainda que intuitivamente as abordagens da vulnerabilidade e o *nexus* água-energia-alimento tenham agendas complementares, elas possuem convergências e divergências em seus arcabouços. A Tabela 2.2 resume características, sobretudo divergentes, das duas abordagens.

Tabela 2.2 – Divergências entre as abordagens da vulnerabilidade e do *nexus* água-energia alimento

Abordagem	Paradigma de pesquisa	Objetivos de pesquisa	Foco	Dados
<i>Nexus</i> Água-Energia-Alimento	Resiliência e robustez, eficiência	Otimizar custos de transação e o uso de recursos, maximizar sinergias e minimizar trade-offs	Sistemas produtivos e setores hídrico, energético e alimentar	<i>Ex-ante</i> <i>Ex-post</i>
Vulnerabilidade	Déficit e perda	Entender contextos que minimizam impactos, danos e perdas	Sistemas sociais e ecológicos	<i>Ex-ante</i>

Fonte: elaborada pela autora, adaptada de Lindoso (2013).

Em termos de objetivos, a governança *nexus* busca a otimização do uso de recursos a partir de uma perspectiva de maximizar sinergias (ou externalidades positivas) e minimizar os trade-offs (externalidades negativas). Busca otimizar os custos de transação e trazer robustez e resiliência à operação dos setores produtivos, tendo como objeto a governança e o uso de recursos. A vulnerabilidade, por sua vez, tem um maior foco em minimizar impactos, danos e perdas, bem como entender o contexto que leva a estes resultados negativos e se debruça sobre os sistemas sociais e ecológicos.

O entendimento da vulnerabilidade, por um lado, requer a ampla avaliação de dimensões temáticas múltiplas em contextos complexos e dos fatores internos e externos que aumentam a propensão do sistema a sofrer efeitos adversos: a exposição, a sensibilidade e a capacidade adaptativa (BIRKMANN *et al.*, 2013; BIRKMANN, 2006). O entendimento do contexto e a avaliação da natureza e magnitude dos impactos e perdas sobre sistemas físicos, ecológicos, sociais e econômicos favorece a abordagem por meio de estudos de caso em escalas menores, como das comunidades e indivíduos (BIRKMANN *et al.*, 2013). Ao passo que a abordagem *nexus* também busca o entendimento do contexto, o princípio de otimização limita os esforços empregados neste sentido (VON BRAUN e MIRZABAEV, 2016), buscando o foco nos setores que determinam as características do sistema em estudo. Ainda, enfrenta a dificuldade de sair das discussões teórico-conceituais para a aplicação em nível local (DRESDEN NEXUS CONFERENCE, 2017) e de atender as distintas escalas entre os setores: as decisões estratégicas tomadas para os setores hídrico, energético e alimentar não se dão nas mesmas instâncias, nem estão prontamente integradas com as escalas das decisões sobre os sistemas locais afetados.

Dentre os poucos estudos que relacionam as duas abordagens, Berardy e Chester (2017) discutem a relação entre vulnerabilidade e os processos de retroalimentação entre eles. Discutem

aproxima a metodologia utilizada da estrutura proposta pela abordagem *Nexus+*, que considera a segurança socioambiental como uma dimensão adicional de interface entre as seguranças hídrica, energética e alimentar (ARAUJO *et al.*, 2019). Nesse sentido, o objetivo central desta análise deixa de ser a otimização dos setores e se volta para a mitigação da vulnerabilidade das populações frente aos estresses climáticos.

A avaliação da vulnerabilidade e das dimensões *nexus* por métodos quantitativos utilizando indicadores é de especial interesse e aplicabilidade para formuladores de políticas e tomadores de decisão. A disponibilidade de dados e a facilidade de comunicação são fatores que impulsionaram o uso de índices compostos da vulnerabilidade, combinando indicadores relacionados à exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa (FÜSSEL, JOL e LUNG, 2019). Füssel, Jol e Lung (2019) alertam para vulnerabilidades do método, relacionadas à comparabilidade e normalização dos dados, agregação de dados estatísticos e ponderação dos indicadores na composição do índice, mas advogam por seu uso diante da poderosa capacidade da ferramenta de comunicar informações integradas.

2.5 CONTEXTO

2.5.1 Impactos das mudanças climáticas globais em escala local

O guia interativo produzido pela UNFCCC, com base no quinto relatório de avaliação do IPCC (AR5) e o relatório especial do IPCC sobre os impactos do aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais relacionam as principais alterações causadas pelas mudanças do clima já evidentes (UNFCCC, 2016; IPCC, 2014; IPCC, 2018):

- aumento de 0,85°C na temperatura média global entre 1880 e 2012, chegando a 1,0°C em 2018;
- aumento de 19 cm na elevação do nível do mar entre 1901 e 2010, devido à expansão térmica da água dos oceanos;
- aumento da temperatura média dos oceanos, redução das quantidades de neve e gelo, com visível perda de gelo no Ártico a cada década desde 1979;
- continuidade do aumento de temperatura dos oceanos. Dadas as emissões atuais de GEE, é provável que tenhamos, ao final deste século, um aumento de 1 a 2°C na temperatura média global em relação aos níveis de 1990. Os oceanos continuarão se aquecendo e o gelo continuará derretendo. Em 2065, estima-se que o nível dos oceanos terá subido entre 24 e 30

cm, podendo chegar até 63 cm em 2100. Ainda que as emissões cessassem imediatamente, a maioria dos efeitos persistiriam por séculos.

Em nível global, além dos efeitos já visíveis levantados anteriormente, ainda pode-se ressaltar os efeitos como estímulo ou impacto relacionado a um ou mais dos estímulos mencionados: mudanças nos padrões de chuva e neve, aumento na frequência de temporais e eventos climáticos extremos, mudanças nos ciclos de vida e de migração animal, derretimento do *permafrost*, diminuição das quantidades de gelo e neve, mudanças nos ciclos de vida de plantas, aumento de secas e queimadas, aumento da temperatura dos oceanos e do nível do mar, branqueamento de corais (UNFCCC, 2016). A esta lista, o IGBP adiciona ainda a perda de ecossistemas como mangues, habitats marinhos e terras úmidas (STEFFEN e ELIOTT, 2004).

O mais recente relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (AR5 - IPCC) destaca os principais riscos de maior confiança que afetam a vulnerabilidade da América Latina, sobretudo devido às mudanças nos padrões de temperatura e precipitação: impacto sobre a biodiversidade, alterações nos ciclos hidrológicos, transformação de regiões tropicais em savanas e do semiárido em região de vegetação árida; significativa redução da disponibilidade de água para o consumo humano, agricultura e geração de energia; redução da capacidade produtiva dos solos, causando desertificação e afetando a segurança alimentar (IPCC, 2007; IPCC, 2014).

A Figura 2.7 ilustra cadeias de impactos conforme as previsões para a região semiárida do Brasil, onde estão localizados os municípios que são foco deste estudo.

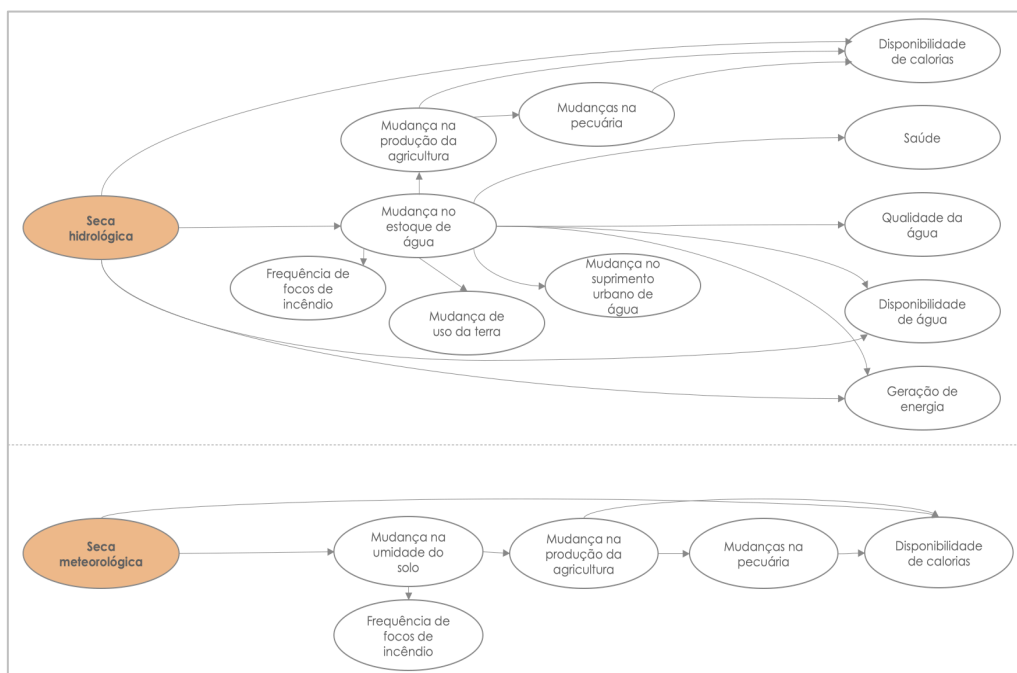


Figura 2.7 - Exemplos de cadeias de impacto previstas diante das mudanças no clima na SMSF

Fonte: elaborado pela autora baseada nos modelos do CI:GRASP (sem data)

Alterações nas normais de temperatura e precipitação podem levar a secas além dos períodos sazonais de estiagem. A seca meteorológica é caracterizada por períodos longos de pouca ou nenhuma pluviosidade, quando a perda de umidade no solo é maior que a reposição. A seca hidrológica se caracteriza por grave desequilíbrio hidrológico, afetando níveis de rios e reservatórios (CEMADEN, 2016).

2.5.2 Vulnerabilidade e pobreza no SMSF

A bacia hidrográfica do rio São Francisco está entre as regiões mais severamente afetadas pelas mudanças do clima dentre as regiões tropicais. O semiárido brasileiro, onde grande parte do rio se encontra, passou por forte redução nas médias de precipitação e aumento nas normais de temperatura, acentuando o risco de desertificação (PBMC, 2013; IPCC, 2014).

Além do extremo risco climático e da seca que atingiu o SMSF entre o extremo risco climático (MARENGO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2017; SEYFFARTH e RODRIGUES, 2017), a região se encontra em situação histórica de vulnerabilidade social (BUAINAM e GARCIA, 2013). A região é marcada por uma diversa gama de grupos sociais com interesses conflitantes, como indígenas, quilombolas, comunidades de fundo de pasto, assentados e pequenos agricultores que convivem com grandes áreas destinadas ao agronegócio. A economia tem forte dependência do primeiro setor, maior

empregador e gerador de renda. Os municípios da SMSF estão bastante abaixo da média do índice de desenvolvimento humano municipal (IDHm) do país de 0,759, como Manari-PE (0,487) e Pedro Alexandre - BA (0,513) (PNUD; IPEA, FJP, 2016).

A vulnerabilidade da região dificilmente se desassocia da pobreza, exacerbada pelas condições ambientais degradadas e os eventos climáticos extremos. A parcela da população pobre chega a 60% em Manari, por exemplo, enquanto 53% das crianças são extremamente pobres (PNUD; IPEA, FJP, 2016). A região atrai um grande número de instituições e organizações não-governamentais que atuam nos mais diversos setores, muitas vezes exercendo funções que suprem a baixa capacidade institucional dos governos locais (PI-SSA, 2017; MILHORANCE *et al.*, 2020).

Trabalhos de modelagem regional das mudanças climáticas no Brasil indicam para a região Nordeste a intensificação de ondas de calor, o aumento de número de dias consecutivos sem chuva e redução da precipitação total (CHOU *et al.*, 2014). Estas condições, agravadas nos cenários de trajetórias representativas de concentração apresentados pelo IPCC (IPCC, 2014) exacerbam ainda mais a vulnerabilidade da região, que já enfrenta grave e longa crise hídrica e socioeconômica (MARENGO, TORRES e ALVES, 2016). Estes aumentos esperados de temperatura e as quedas nas médias de precipitação, associados à baixa umidade do ar deverão exceder a capacidade fisiológica humana de adaptação (CHOU *et al.*, 2014) e espera-se que essas mudanças afetem os principais setores da economia, como a agricultura e a construção. Diante destas previsões, estima-se um maior impacto sobre comunidades concentradas em áreas de alto risco e de dependência direta de recursos naturais (HABTEZION, 2013; IPCC, 2014). Grupos expostos por deficiências de direitos têm reduzida sua capacidade adaptativa à medida que as mudanças climáticas afetam meios de produção e renda, habitação, saúde e acesso a serviços públicos (PEITER, MALUF e ROSA, 2011).

As altas taxas de crescimento da população somadas aos baixos níveis de atendimento das redes públicas de saneamento e esgoto, coleta de lixo e reciclagem deverão aumentar as pressões sobre os sistemas naturais, intensificando a incidência de doenças de veiculação hídrica e afetando as seguranças alimentar e hídrica (DATASUS, 2017; PNUD, 2014; PNUD; IPEA, FJP, 2016). O aumento da população é um fator crítico para pequenas e médias cidades de regiões em desenvolvimento, onde a infraestrutura e as instituições ainda precisam ser desenvolvidas para fornecer os serviços e produtos que permitam à população desfrutar dos plenos direitos humanos (ANDERSON *et al.*, 2013). A insegurança fundiária e os conflitos pela terra, a expansão desordenada das cidades sem fortalecidos planos de ordenamento territorial, os escassos recursos humanos e financeiros que afetam a região, associados aos impactos dos eventos de estiagem extrema sobre

sistemas produtivos e a saúde pública, poderão levar a ainda mais altas taxas de pobreza, desemprego e degradação dos ecossistemas.

CAPÍTULO TRÊS

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo utilizou de métodos mistos qualitativos e quantitativos para avaliar em que medida as seguranças hídrica, energética e alimentar em conjunto se relacionam com a vulnerabilidade nos municípios do submédio curso da BHSF no enfrentamento da estiagem que afetou a região nesta década. A análise qualitativa das entrevistas feitas em novembro de 2018 com atores e lideranças da bacia permitiu o entendimento dos principais pontos de vulnerabilidade a partir de uma perspectiva local *ex post*. Estas percepções subsidiaram a criação de uma estrutura de indicadores de vulnerabilidade relevante para o contexto do SMSF. Dados secundários coletados para estes indicadores foram utilizados para a criação de um índice auxiliar de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental (iVSEA)⁷.

Análises de correlação e regressão linear múltipla utilizaram como variáveis preditoras os usos consuntivos de água do rio São Francisco para abastecimento humano e destinados à irrigação, bem como o consumo de energia elétrica residencial para cada município do SMSF. Por fim, dados de exposição que afetam a disponibilidade hídrica e as dinâmicas socioeconômicas e territoriais da região foram incluídos para avaliar como a vulnerabilidade local se agrava diante de severa estiagem. Foram utilizadas séries históricas para o período de 2008 a 2014. O índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental combinou múltiplos indicadores para compor a variável dependente do estudo. Assim, dois modelos foram criados para avaliar as interconexões entre as dimensões do *nexus* água-energia-alimento: o primeiro considera a relação das seguranças hídrica, alimentar e energética com a vulnerabilidade; o segundo adiciona a esta avaliação as condições de exposição enfrentadas pela região entre 2008 e 2014 para entender como as relações com a vulnerabilidade são afetadas quando avaliadas em conjunto.

Este capítulo detalha os procedimentos metodológicos utilizados para responder as perguntas de pesquisa. Os procedimentos podem ser resumidos e relacionados aos seus objetivos conforme descrito na Tabela 3.1 a seguir.

⁷ Nota: o índice em si não é o objetivo final da análise e não tem a função de representar numericamente a vulnerabilidade, nem de comparar valores entre os municípios. Ainda que seja composto por um grupo de indicadores ambientais, sociais e econômicos, ele foi criado como variável auxiliar para a regressão linear múltipla, que requer uma única variável de resposta. O índice está detalhado e discutido nas próximas sessões.

Tabela 3.1 - Resumo dos métodos propostos para responder as perguntas de pesquisa

Perguntas de pesquisa	Objetivos	Métodos	Resultados
Que estrutura de indicadores poderá definir a vulnerabilidade dos SSE com legitimidade e representatividade, considerando as percepções de atores locais?	Contribuir para a construção de arcabouço metodológico da pesquisa científica <i>nexus</i> água-energia-alimento, a partir da análise de dados em escala municipal e de percepções de atores-chave no SMSF	Análise qualitativa das entrevistas semiestruturadas com atores-chave nos municípios sob influência do SMSF	Estrutura de indicadores de vulnerabilidade socioeconômica e ambiental validada
Em que medida as pressões exercidas pelas seguranças do <i>nexus</i> água-energia-alimento sobre os recursos hídricos dos municípios do SMSF, quando observadas em conjunto, se relacionam com a vulnerabilidade dos SSE às mudanças climáticas?	Compreender a influência das dimensões das seguranças hídrica, energética e alimentar sobre a vulnerabilidade do submédio curso da bacia hidrográfica do rio São Francisco no contexto das mudanças climáticas	Análise quantitativa dos dados coletados – estudos de regressão linear múltipla com as dimensões <i>nexus</i>	Reflexão sobre o nexo entre as seguranças hídrica, energética e alimentar com foco na segurança socioambiental
Em que medida os extremos de precipitação característicos da estiagem que atingiu a região no início do século afetaram esta relação entre o uso e manejo dos recursos hídricos para as seguranças hídrica, alimentar e energética com vulnerabilidade dos SSE?	Elaborar ferramentas e argumentos que considerem o contexto das fragilidades locais e que possam subsidiar futuras tomadas de decisão, com o intuito de mitigar a vulnerabilidade às mudanças climáticas no SMSF, sobretudo para os povos e comunidades tradicionais e grupos de maior vulnerabilidade.	- Análise quantitativa de dados secundários – regressão linear múltipla com as dimensões <i>nexus</i> e dados de exposição - Análise qualitativa conceitual e teórica (revisão da literatura)	Reflexão sobre o nexo entre as seguranças hídrica, energética e alimentar no contexto das mudanças climáticas no SMSF e possíveis aplicações dos resultados obtidos

Fonte: elaborado pela autora.

3.1 DESENHO DE PESQUISA

Organização do estudo

O estudo está organizado em cinco capítulos. O capítulo um introduz o contexto do estudo e o Projeto Integrativo de Segurança Socioambiental no qual ele está inserido. Traz, ainda, uma breve revisão de termos chave: abordagem *nexus* água-energia-alimento, seguranças hídrica, energética e alimentar, além da contextualização do estudo na vulnerabilidade às mudanças climáticas na região do submédio curso do Rio São Francisco. O capítulo traz também a declaração de propósito, os objetivos e perguntas de pesquisa. As limitações e escopo do estudo também foram estabelecidos. O capítulo se baseia em extensa revisão da literatura sobre a BHSF, a abordagem *nexus* e o estudo das mudanças climáticas, mas é também resultado dos esforços coletivos do PI SSA, que serviram de ponto de partida para o desenho dessa dissertação.

O segundo capítulo apresenta uma revisão da literatura recente e relevante sobre as principais dimensões e conceitos explorados nesta dissertação. Um mapa da literatura esquematizou como a literatura poderia apoiar as perguntas de pesquisa e o alcance dos objetivos de pesquisa por duas frentes: estabelecimento de conceitos-chave (desafios das mudanças climáticas em distintas escalas, abordagem *nexus*, seguranças hídrica, energética e alimentar, vulnerabilidade e adaptação, por exemplo); e contextualização da pesquisa (histórico da região do SMSF, desenvolvimento sustentável e a agenda 2030, medidas adaptativas, planos e programas). Após a priorização e revisão dos documentos selecionados, buscou-se construir um marco teórico que fornecesse a base necessária para a estrutura de análise.

O capítulo três descreve os materiais e métodos utilizados para a pesquisa. Procedimentos específicos são apresentados: desenho de pesquisa com métodos mistos, qualitativos e quantitativos; descrição da coleta de dados secundários e processos de pesquisa de campo, participantes e instrumentação (roteiro de entrevistas semiestruturadas); método de análise qualitativa das entrevistas; confiabilidade e validade das variáveis quantitativas de estudo; apresentação das hipóteses de pesquisa; construção de indicadores e do índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental; técnicas para o tratamento e análise de regressão dos dados.

A análise e discussão dos resultados são apresentados no capítulo quatro. Primeiramente, discutiram-se os dados das entrevistas, métodos e resultados da codificação e aportes da análise qualitativa à análise de indicadores. Em seguida, apresentam-se a estatística descritiva, os dados e a

análises de correlação e regressão linear múltipla, bem como as avaliações de premissas que validam o método selecionado para o estudo. Os resultados são discutidos à luz das perguntas de pesquisa.

O capítulo cinco resume os resultados, conclusões e recomendações da pesquisa com foco na discussão dos objetivos de pesquisa.

Design de pesquisa

A literatura sobre métodos de pesquisa chama atenção para a inconsistência de terminologia usada no desenho e nas definições de pesquisa. Termos que definem conceitos distintos são comumente utilizados de forma intercambiável, como abordagem, método, metodologia, paradigma, pesquisa, desenho, perspectiva, estratégia de análise, entre outros (EDMONDS e KENNEDY, 2017; PARANHOS *et al.*, 2016). Essa terminologia varia entre diferentes autores e também entre a literatura original e as traduções para o português, ainda que se refiram a conceitos similares. Edmonds e Kennedy (2017), por exemplo, chamam de *abordagem* o modelo teórico de como os dados são coletados e que sujeitos serão envolvidos, enquanto Paranhos e colaboradores (2016) usam o termo *coleta de dados* para esta etapa do método. Creswell (2014) usa tanto *pesquisa* quanto *design* para se referir ao processo sistemático de controle do experimento. Teddlie e Tashakkori (2009) recomendam evitar textos com linguagem conceitualmente pouco clara, mesmo que não haja consenso universal sobre as definições, uma vez que trocas se cascateiam pelo estudo e podem levar não apenas a escolhas inadequadas de desenho, mas em último caso, à invalidação dos resultados da pesquisa (TEDDLIE e TASHAKKORI, 2009; EDMONDS e KENNEDY, 2017; ALEMU, 2016).

Para este estudo, a definição do método, pesquisa, abordagem e desenho seguiu as hierarquias propostas por Edmonds e Kennedy (2017), que estabelecem uma terminologia clara para a estrutura conceitual e hierárquica dos aspectos e componentes da metodologia. Por método, entende-se a perspectiva teórica, filosófica e analítica do estudo, enquanto a pesquisa se refere ao processo sistemático de controle. A abordagem, sobretudo nos métodos quantitativos, determina o modelo teórico de como os dados serão coletados e de que sujeitos serão envolvidos, enquanto a perspectiva, nos métodos qualitativos, determina as lentes sob as quais o pesquisador aborda o estudo. Por fim, o desenho (ou *design*) se refere à estrutura da pesquisa, indica os prazos e recortes temporais de coleta e tratamento de dados, bem como os grupos envolvidos (EDMONDS e KENNEDY, 2017). A Tabela 3.2 resume as definições e elaboram sobre o desenho do estudo.

Tabela 3.2 - Escolhas para a estrutura de desenho do estudo por métodos mistos.

Método	Misto	Dados qualitativos expandem o construto do modelo correlacional e enriquecem o contexto.
Pesquisa	Não experimental / Observacional	Observações permitem estabelecer ou prever relações e graus de associação entre variáveis. Dados utilizados ocorreram no passado e variáveis não podem ser manipuladas, incluídas, excluídas ou designadas a grupos específicos.
Abordagem	Aninhada (<i>embedded / nested</i>)	A abordagem permite ao pesquisador inserir dados qualitativos em uma pesquisa não experimental.
Desenho	Correlacional	Dados quantitativos são enfatizados em relação aos qualitativos. Correlações podem ter papel explanatório ou preditivo.

Fonte: elaborada pela autora conforme Edmonds e Kennedy (2017)

A estrutura foi exposta com mais detalhes nas seções a seguir, a partir de cada um dos métodos utilizados.

3.2 MÉTODOS MISTOS

A pesquisa utilizou a estrutura de métodos mistos, também denominados na literatura como triangulação ou integração de métodos (PARANHOS *et al.*, 2016), para responder as perguntas de pesquisa como uma alternativa às tradições metodológicas puramente qualitativas e quantitativas dominantes na academia. Este modelo utiliza em um mesmo estudo ambos métodos em perguntas, abordagem, pesquisa, coleta e integração de dados, processos de análise, inferência e interpretação (TEDDLIE e TASHAKKORI, 2009). A estrutura integrou métodos qualitativos, com análise de entrevistas semiestruturadas e processos participativos; e quantitativos, com estudos correlacionais de indicadores, que se complementaram nas etapas de planejamento, coleta de dados, análise e interpretação. A escolha pelo método se deu pelo entendimento de que esta combinação proporcionou uma melhor percepção do problema de pesquisa em relação a métodos somente qualitativos ou quantitativos, tanto de uma perspectiva confirmatória quanto complementar (PARANHOS *et al.*, 2016). O método qualitativo informa o quantitativo: entrevistas foram utilizadas para apoiar (perspectiva complementar) e dar legitimidade à estrutura de indicadores de vulnerabilidade (perspectiva confirmatória). Vogt, Gardner e Haeffele (2012) defendem diversas situações que justificam o uso de métodos mistos que se aplicam a esse estudo. Apresentam a integração de métodos com o potencial de: i) elaborar e aprofundar o conhecimento sobre os resultados qualitativos e quantitativos; e ii) a possibilidade de “contar a história completa”, incluindo na análise as percepções

de diversos atores e partes interessadas em uma abordagem de baixo para cima e, na medida do possível, transdisciplinar⁸.

Ainda que pertençam a um espectro entre os métodos qualitativos e quantitativos, o uso de métodos mistos se diferencia destes nas múltiplas dimensões que os caracterizam (TEDDLIE e TASHAKKORI, 2009). Em termos de paradigma e visão de mundo, assume uma posição pragmática, partindo do entendimento que mesmo o estudo de correlações estatísticas precisa ser organizado e avaliado conforme o contexto social, histórico e político (CRESWELL, 2014). Essa contextualização é fundamental para que os dados e decisões a partir do estudo possam contribuir para a justiça social e ambiental. As perguntas de pesquisa possuem componentes quantitativos (estudo da relação entre consumo e vulnerabilidade) e qualitativos (avaliação da vulnerabilidade contextual), conferindo à pesquisa propósito confirmatório. Em métodos mistos, as perguntas de pesquisa determinam se os métodos devem se apoiar mais em um tipo de desenho que em outro (VOGT, GARDNER e HAEFFELE, 2012). Neste caso, as análises quantitativas predominam por se aproximarem mais do cerne das perguntas de pesquisa e dos objetivos do estudo que as componentes qualitativas. A pesquisa assume, portanto, o desenho esquematizado na Figura 3.1.

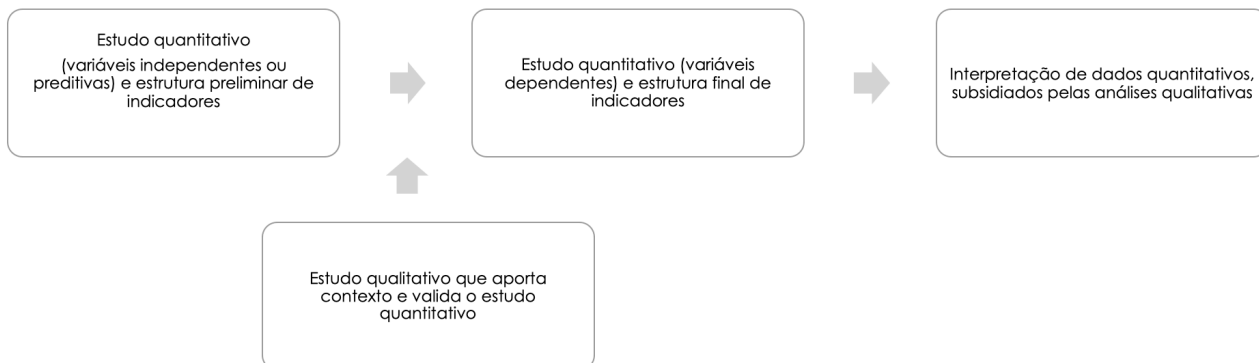


Figura 3.1 - Desenho de método não experimental misto aninhado correlacional do estudo

Fonte: elaborado pela autora, adaptado de Edmonds e Kennedy (2017)

A Figura 3.2 esquematiza os principais passos do método adotado para responder às perguntas e hipóteses de pesquisa.

⁸ A transdisciplinaridade é entendida como um espectro, variando em aspectos de processo, criação de conhecimento, intensidade de inclusão e resultados (BRANDT *et al.*, 2013; KLEIN, 2008; LANG *et al.*, 2012; HOLZER, CARMON e ORENSTEIN, 2018). Portanto, reconhecendo as limitações do estudo, de tempo e recursos, buscou-se incorporar características que tornassem o projeto o mais transdisciplinar possível dentro desse espectro.

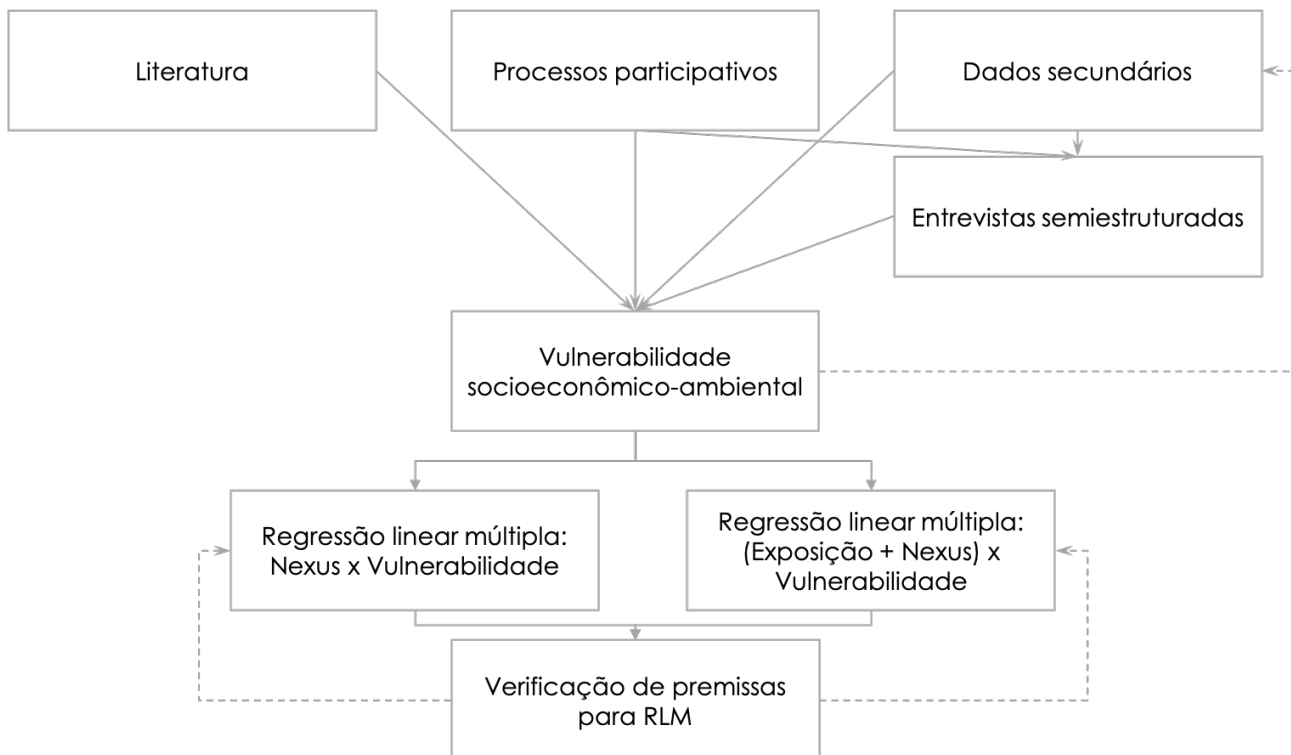


Figura 3.2 - Método de estudo adotado

Fonte: elaborado pela autora

Consultas à literatura e aos principais atores do SMSF, associados à coleta de dados secundários possibilitaram o planejamento das atividades de pesquisa e de campo. Uma estrutura inicial de indicadores e dados de séries históricas foi proposta para compor a variável dependente das análises de regressão. Essa estrutura foi associada às informações coletadas nas entrevistas sob a forma de narrativas, que aportaram conhecimentos locais para validação das dimensões da vulnerabilidade relevantes à região presentes na estrutura de indicadores e na composição de variáveis analisadas. As entrevistas aportaram também contexto e relevância ao estudo, e demandaram processos de *feedback* e revisão dos dados coletados e da forma como determinadas dimensões foram abordadas.

A estrutura de indicadores compôs então um índice auxiliar de vulnerabilidade socioeconômico e ambiental, usado em dois modelos de análise de correlação e regressão linear múltipla como variável de resposta. No primeiro modelo, dados secundários de vazão de usos consuntivos para consumo humano e irrigação por município, bem como o consumo de energia elétrica para uso residencial foram selecionados como variáveis independentes representativas das dimensões do *Nexus* Água-Energia-Alimento. O segundo modelo inclui nesta avaliação os dados de exposição (precipitação média mensal e variância da precipitação mensal). Estes dados foram

incluídos como preditores sob a hipótese de que pudessem afetar a vulnerabilidade de maneira significativa, incluindo na equação o contexto das mudanças do clima e da estiagem prolongada que afetou a região no período de estudo (MARENGO, TORRES e ALVES, 2016; MARENGO *et al.*, 2018). Para garantir a aceitabilidade do modelo linear, uma série de premissas foram verificadas, estabelecendo múltiplas iterações até que o modelo estivesse adequado.

Deste modo, um modelo empírico e um modelo teórico de avaliação (Figura 3.3) se relacionam e se retroalimentam, adaptados e simplificados para o escopo dessa dissertação a partir das propostas de pesquisa do PI SSA (PI SSA, 2017a).

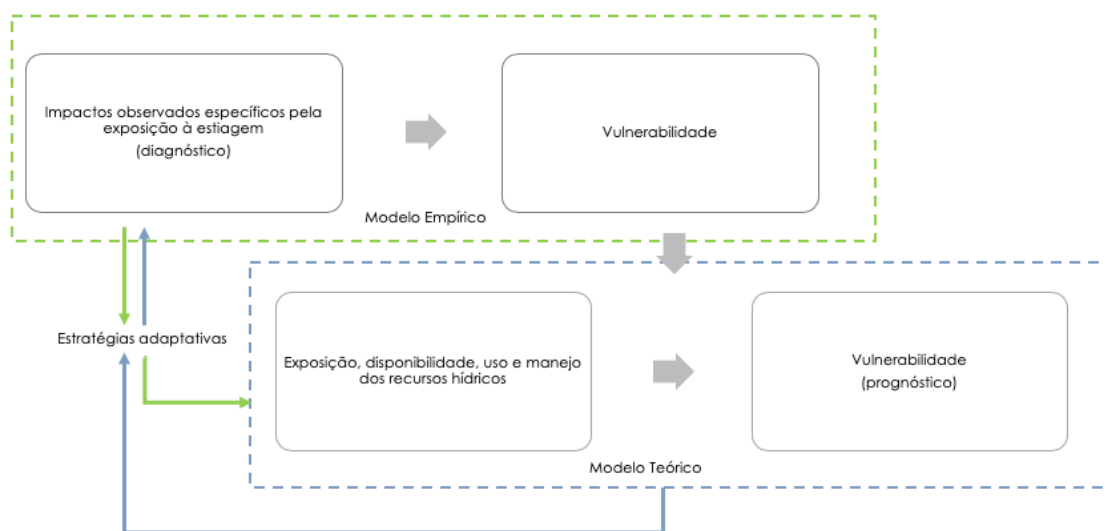


Figura 3.3 - Modelos teórico e empírico para a avaliação da vulnerabilidade, de impactos e de estratégias adaptativas
 Fonte: elaborado pela autora baseado nas propostas do PI SSA (PI-SSA, 2017; PI SSA, 2017a; ADGER *et al.*, 2009; GALLOPÍN, 2006)

No modelo empírico, os impactos observados identificados foram avaliados junto aos atores locais e relacionados aos indicadores de sensibilidade e capacidade adaptativa para fornecer um diagnóstico *ex post* da vulnerabilidade. Por sua vez, esse diagnóstico aporta ao modelo teórico atributos da vulnerabilidade e de suas relações com a exposição e com as estratégias de manejo e uso da água para as seguranças hídrica, alimentar e energética. Esses atributos são específicos do contexto da SMSF para serem avaliados no modelo teórico, que por sua vez busca estabelecer as correlações que podem direcionar estratégias adaptativas e prever impactos futuros.

A escolha pelo recorte de 2008 a 2014 se deu por dois motivos principais: primeiro, esse período permite a avaliação de dados do período anterior e durante a estiagem que atingiu o nordeste brasileiro, sobretudo os anos 2008 e 2009 que foram relativamente chuvosos e depois de 2010, quando a estiagem se acentuou (com o vale em 2012, em especial) (MARENGO *et al.*, 2018). Segundo, o

recorte permitiu ampliar o número de variáveis disponíveis quando da elaboração deste estudo, uma vez que o atraso entre coleta e divulgação de dados reduz significativamente a quantidade de dados que poderiam ser utilizadas após 2014. Seguiu-se a interpretação dos resultados, dos dados qualitativos e quantitativos, apoiada, portanto, em lógicas dedutivas e indutivas.

A análise das narrativas nas entrevistas se deu pela codificação e contextualização dos discursos utilizando software de análise qualitativa (NVivo 12). Esta análise aportou conhecimentos locais sobre as dimensões da vulnerabilidade à seca no SMSF, contribuindo para a composição de variáveis analisadas em métodos estatísticos e validando a estrutura de indicadores proposta. Para as análises quantitativas foram utilizadas ferramentas e softwares múltiplos (tabulação em Excel, codificação em python e uso da ferramenta Jupyter para tratamento de dados, além do Stata para análises estatísticas e validação de premissas). Estes métodos são discutidos com mais detalhes nas seções seguintes.

3.2.1 Processos participativos e recorte geográfico

Processos participativos e de articulação do PI SSA

O PI SSA organizou desde o início de 2016 encontro de diálogos e planejamento multiescalares e transdisciplinares com atores e partes interessadas dos processos de formulação e implementação de ações públicas e coletivas incidentes sobre a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Nestas etapas foram envolvidos atores da academia, governamentais e não governamentais, membros da sociedade civil organizada e lideranças locais em distintos níveis de governança e escala (ARAUJO *et al.*, 2019; PI-SSA, 2017). A partir desse processo foi possível realizar o mapeamento de participantes do estudo, bem como dos territórios a serem explorados. Em especial, o processo teve como objetivo identificar comunidades mais vulneráveis, além de povos e comunidades tradicionais.

Este amplo esforço coletivo se deu através de diversas atividades paralelas. Um extenso levantamento de políticas públicas, iniciativas governamentais e não governamentais se propôs a compreender em que medida as iniciativas setoriais na região estão integradas e coerentes com os objetivos de adaptação às mudanças climáticas. Este levantamento teve como objetivo inventariar iniciativas, instituições e arranjos políticos de implementação nos níveis federal e regional (PI SSA, 2017a; MILHORANCE *et al.*, 2019). Dentre outros resultados, facilitou a identificação de atores relevantes e mais atuantes nesta escala, nas esferas pública, privada e terceiro setor.

Em paralelo, o grupo de pesquisa organizou reuniões técnico-políticas e estabeleceu parcerias para identificação de atores e agendas dos governos federal, regional e local, além da sociedade civil. Destacam-se em nível nacional os Ministérios do Meio Ambiente (MMA) e do Desenvolvimento Social e Agrário (MDSA), o Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (CONSEA), o Instituto Internacional de Educação do Brasil (IEB), o Instituto Socioambiental (ISA) e a Fundação Nacional do Índio (FUNAI). Em nível regional, estiveram ativamente envolvidos o Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada (IRPAA), a Articulação do Semiárido (ASA), múltiplos grupos participantes do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF), a Agência Peixe Vivo (AGP), o Centro Xingó de Convivência com o Semiárido, a Embrapa Semiárido, a Articulação do Estado da Bahia dos Fundos e Feixos de Pasto, a Universidade do Vale do São Francisco (UNIVASF), e a Articulação dos Povos e Organizações Indígenas do NE, MG e ES (APOINME) (PI SSA, 2017a).

Ainda, foram organizados seminários de interação ciência-política que tiveram como objetivo a co-construção de conhecimento sobre vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas, sobretudo considerando desigualdades de gênero e as vulnerabilidades específicas de povos e comunidades tradicionais. Essa atividade contou com a presença de autoridades do governo, da academia e da sociedade civil (PI SSA, 2017a).

Estas ações resultaram na identificação de mais de 600 atores nos níveis municipal, estadual, federal e internacional, nas esferas pública, privada, organizações não-governamentais, representações de classe, cooperativas e associações, doadores nacionais e internacionais, órgãos de fomento nacionais e internacionais, universidades e institutos de pesquisa. As interações entre estes atores foram mapeadas como na Figura 3.4, que ilustra algumas das políticas nacionais incidentes sobre a região e os respectivos atores relacionados à sua criação, decisões e implementação.

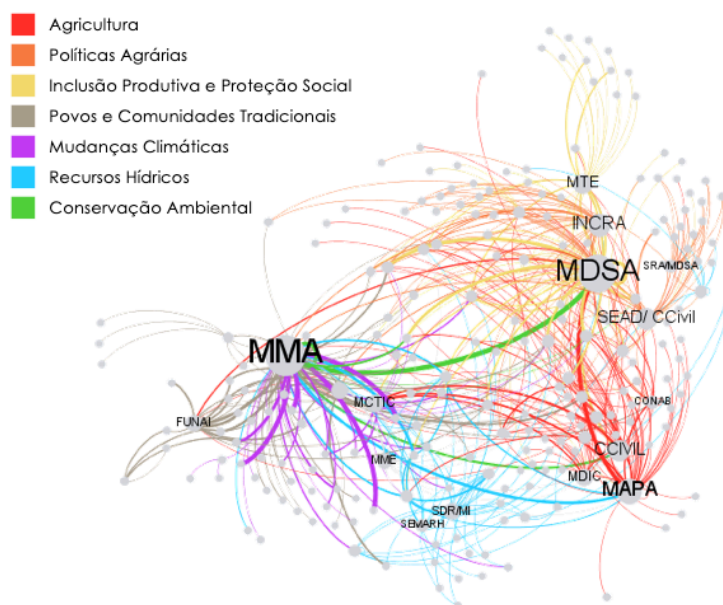


Figura 3.4 - Políticas nacionais com incidência na BHSF

Fonte: PI-SSA (2017)

Além de permitir visualizar as interdependências entre os atores em um nível macro, o mapa permitiu visualizar como os diferentes setores se relacionam com os atores. Percebe-se, por exemplo, que as políticas voltadas para PCTs (em marrom) aparentam estar mais relacionadas às políticas de meio ambiente e ao MMA que aos setores produtivos. As políticas agrárias parecem estar mais conexas com as políticas sociais que de agricultura e de recursos hídricos (PI-SSA, 2017; MILHORANCE *et al.*, 2019).

Concomitantemente, construiu-se uma estrutura de indicadores de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa para a região em nível municipal. Foram também especializadas a distribuição e concentração de povos indígenas, comunidades e povos tradicionais e beneficiários de políticas sociais, como indicado nos mapas elaborados pelo grupo de pesquisa do PI SSA nas Figura 3.5 a Figura 3.10 (PI-SSA, 2017). A Figura 3.11 detalha os municípios adotados para o estudo.

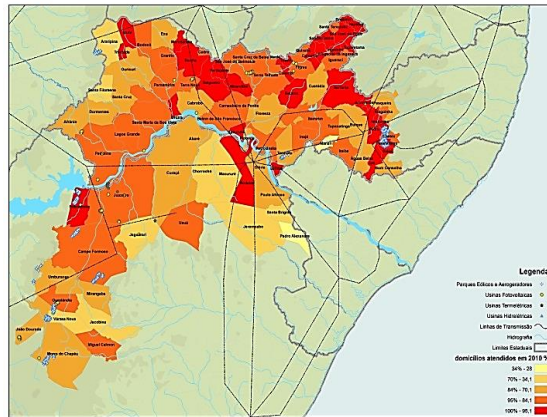


Figura 3.5 - Acesso à energia elétrica (% de domicílios atendidos por município) e distribuição espacial da infraestrutura de geração e distribuição de energia – 2010.
Fonte: DataSUS (2017).

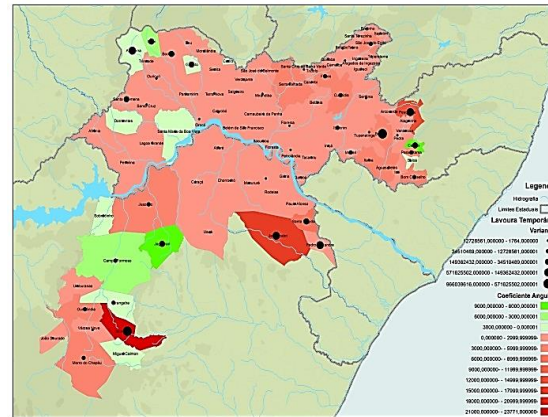


Figura 3.6 - Taxa de variação da produção de lavouras temporárias (coeficiente angular) e estabilidade da produção anual (variância) por município – 2005 a 2015.
Fonte: IBGE (2020).

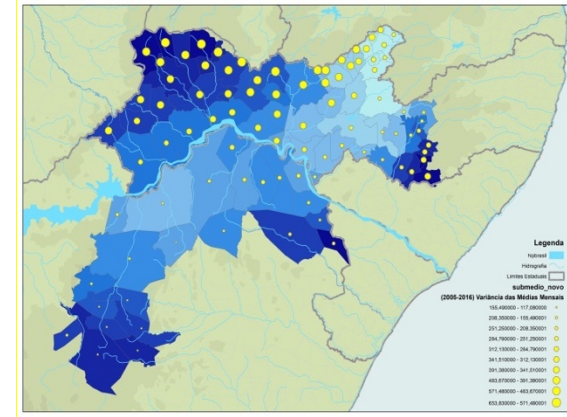


Figura 3.7 - Média mensal de precipitação acumulada por município e variância anual da média mensal acumulada (círculos). Dados de 2005-2016.
Fonte: INPE, 2017.

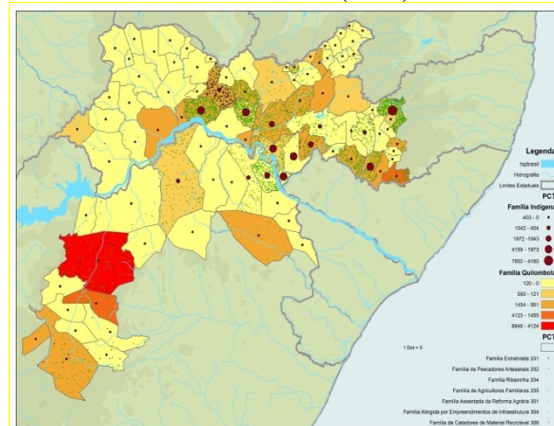


Figura 3.8 - Concentração dos povos e comunidades tradicionais por município e por tipo de grupo populacional tradicional e específico.
Fonte: bases cartográficas i3GEO (MMA, 2017).

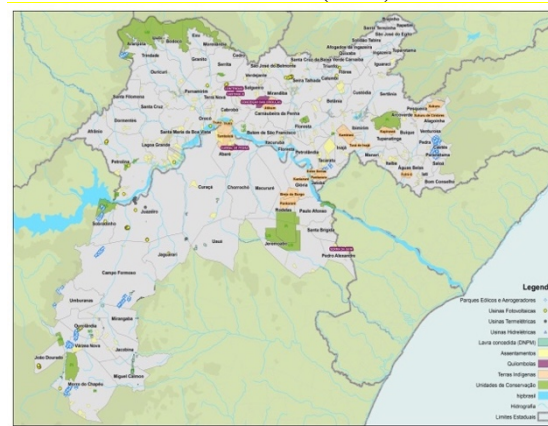


Figura 3.9 - Distribuição geográfica de povos e comunidades tradicionais e unidades de conservação.
Fonte: bases cartográficas i3GEO (MMA, 2017)

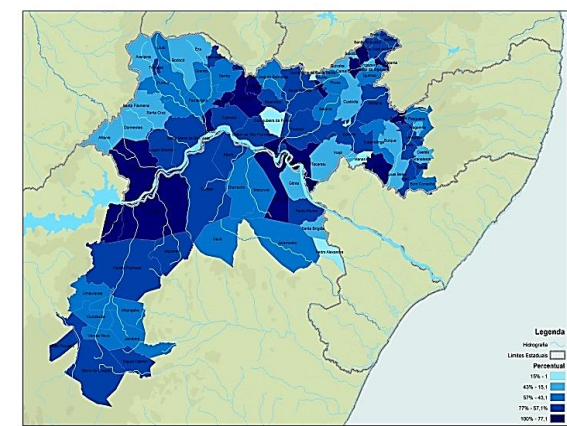


Figura 3.10 - Abastecimento de água pela rede pública (percentual de domicílios atendidos) – dados de 2010
Fonte: DataSUS.

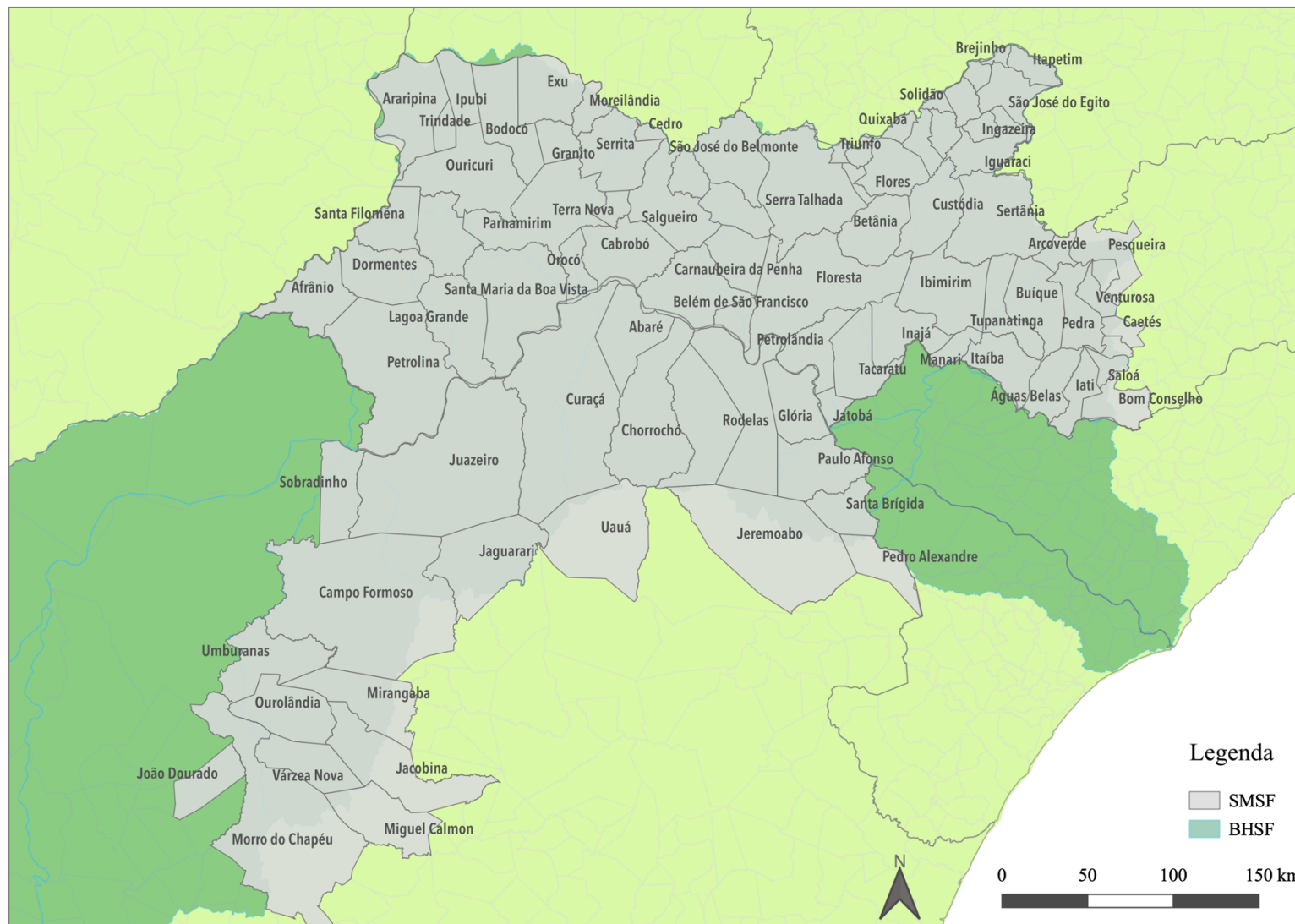


Figura 3.11 - Recorte geográfico do estudo: municípios do submédio Rio São Francisco

Fonte: elaborado pela autora.

A triangulação destas iniciativas serviu de base para a identificação dos territórios e comunidades mais vulneráveis, que por sua vez possibilitou a construção de uma agenda para o projeto de pesquisa e as atividades de campo. Definiu-se como recorte geográfico do projeto a região fisiográfica do submédio curso da bacia do rio São Francisco (SMSF), uma vez que ficou evidente sua situação de vulnerabilidade social e climática, sobretudo no recente ciclo de estiagem (2012-2017) (MARENGO, TORRES e ALVES, 2016). Os participantes selecionados incluíram povos e comunidades tradicionais e grupos vulneráveis, como quilombolas, indígenas e comunidades de fundo de pasto, agricultores familiares, associações de lavadeiras e catadores de material reciclável, pescadores, bem como gestores públicos do SMSF.

3.3 COMPONENTE QUALITATIVA

A pesquisa de campo e análise qualitativa dos dados seguiu os processos determinados nas pesquisas participativas que definiram recorte geográfico e participantes do estudo. Os segmentos sociais selecionados para as entrevistas incluíram catadores de materiais recicláveis, agricultores familiares, comunidades quilombolas, indígenas e de fundo de pasto, associações de lavadeiras, pescadores e gestores públicos. Dezesete municípios da Bahia (sete) e Pernambuco (dez) foram percorridos por doze pesquisadores da Rede CLIMA em um percurso de mais de três mil quilômetros em novembro de 2017. As regiões incluíram distintos tipos de assentamentos nos meios urbano e periurbano, perímetro irrigado e comunidades rurais. O percurso coberto está descrito na Figura 3.12.

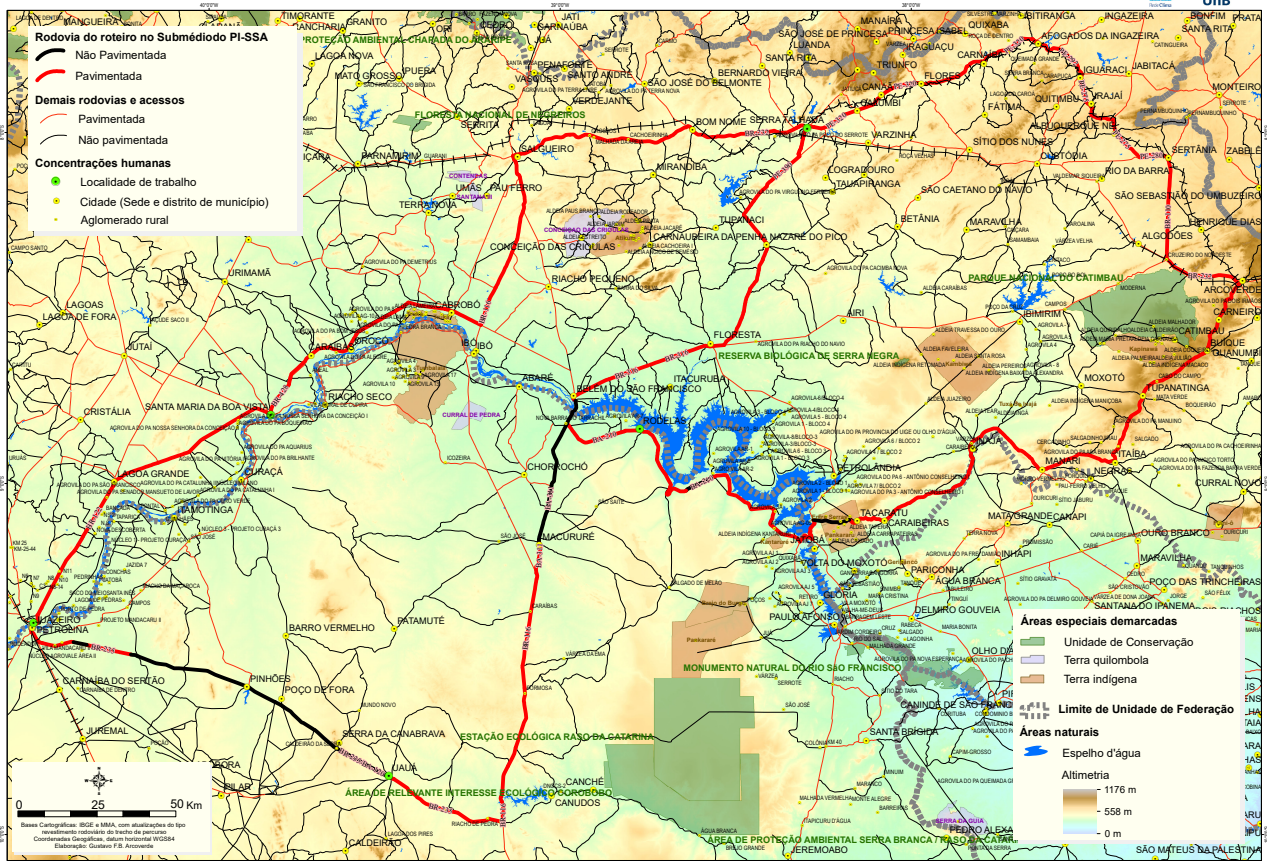


Figura 3.12 - Deslocamentos para as oficinas participativas e pesquisas de campo no SMSF

Fonte: elaborado por Gustavo Arcoverde para a Rede CLIMA, 2017

3.3.1 Amostragem

A seleção de entrevistados seguiu uma metodologia não probabilística, combinando distintas técnicas tradicionais (ALEMU, 2016). Uma amostragem intencional foi feita com o objetivo de incluir no estudo e dar voz às minorias vulneráveis da região, como PCTs, povos indígenas, pequenos agricultores, lavadeiras e catadores, por exemplo. A técnica de bola-de-neve foi usada no planejamento e durante a pesquisa de campo. À medida que os atores foram envolvidos, recomendações de grupos e indivíduos que poderiam trazer contribuições relevantes ao estudo foram incluídas, dentro das possibilidades de tempo e recursos do projeto. Por fim, amostragem por conveniência também foi utilizada, uma vez que contatos pré-existentes cujas experiências legitimamente faziam parte dos interesses do estudo foram incluídas de forma não probabilística.

Informações sobre os participantes do estudo

As entrevistas foram realizadas em outubro de 2017 pelos membros do grupo de pesquisa do PI-SSA, que se dividiram entre as comunidades e municípios a partir de roteiros que otimizassem tempo, deslocamento e recursos.

Os encontros se deram com lideranças indicadas por múltiplos atores da bacia, bem como com os contatos realizados pelo grupo de pesquisa nas etapas anteriores ao campo. Buscou-se incluir atores que representassem com legitimidade as comunidades a que pertenciam, que tivessem visão sistêmica e abrangente do contexto de suas comunidades. No entanto, a coleta de informações pode não ter capturado especificidades, vulnerabilidades e diferenças dentro dos próprios grupos, deixando para trás percepções e desafios de minorias de pouca voz. A Tabela 3.3 detalha a distribuição geográfica das entrevistas avaliadas neste estudo, bem como seus grupos de pertença.

Tabela 3.3 - Perfil dos participantes da pesquisa por grupo de pertença, número de entrevistas e localização geográfica

Grupo de Pertença	Número de entrevistas (individuais e coletivas)	Municípios
Agricultores e agricultoras	7	Juazeiro, Dormentes, Sobradinho, Curaçá
Catadores e catadoras	2	Juazeiro e Petrolina
Lavadeiras	2	Juazeiro
Comunidades de fundo de pasto	4	Uauá, Juazeiro, Chorochó
Povos indígenas	6	Rodelas, Jatobá
Academia / Comitê de Bacia / Pesquisa	3	Juazeiro, Petrolina, Chorochó
Gestores públicos	2	Juazeiro, Petrolina, Chorochó
Pescadores	2	Juazeiro
Sociedade civil, associações e outros	2	Juazeiro
Assentamentos	3	Serra Talhada, Lagoa Grande
Quilombolas	1	Curaçá

Fonte: elaborado pela autora.

3.3.2 Instrumentos de coleta e análise

Instrumentação e coleta de dados qualitativos

A pesquisa de campo do PI SSA seguiu o arcabouço teórico-metodológico desenvolvido ao longo de 2017, bem como as determinações advindas dos processos de articulação e planejamento das pesquisas participativas de campo no SMSF. Estas atividades resultaram no Documento Orientador das Pesquisas Participativas de Campo produzido pelo grupo de pesquisa (PI SSA, 2017b), à exceção de devidos ajustes no cronograma original.

Uma primeira etapa, realizada em setembro de 2017, incluiu entrevistas semiestruturadas com tomadores de decisão, com vistas ao fortalecimento do apoio a campo. As entrevistas se deram em

paralelo às oficinas temáticas organizadas pelo MMA para o projeto de Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (MacroZee-SF). Esta foi também uma oportunidade para testar e amadurecer o roteiro de entrevistas a ser empregado na etapa de pesquisa de campo.

A versão orientadora das entrevistas está no Apêndice 1 e foi elaborada pelo grupo de pesquisa para orientar as atividades de campo da Rede CLIMA. O instrumento de coleta de dados desenvolvido possui uma introdução que orienta os pesquisadores quanto aos objetivos da entrevista semiestruturada: avaliar os impactos e respostas a um evento extremo (estiagem) em nível local a partir da perspectiva das comunidades mais vulneráveis. Oito perguntas de resposta aberta guiaram as entrevistas no campo, deixando espaço aos pesquisadores para adaptação conforme o contexto.

Em um primeiro momento, as perguntas propuseram o debate sobre o vetor de exposição à recente estiagem e histórica. Entrevistados(as) foram questionados em relação ao início e duração da estiagem e sobre experiências vividas em estiagens passadas. A seguinte seção abordou questões sobre sensibilidade, capacidade adaptativa e adaptação. Os entrevistados(as) foram estimulados a falar de suas experiências com a estiagem. Esse debate foi estruturado para que a discussão se desse em relação às diversas dimensões da segurança socioambiental: água, alimento, trabalho remunerado, trabalho doméstico, renda, família, transporte, energia, moradia, migração e mobilidade, meio ambiente. Eventualmente, outros temas foram incluídos, como segurança fundiária, terra e território, saúde e conflitos. Estas dimensões foram questionadas em relação às mudanças observadas, iniciativas de resposta e superação, bem como eventuais contradições entre demandas e ações notadas pelos participantes. Em seguida, o roteiro propôs a discussão dos impactos da estiagem sobre a categoria ou grupo de pertença do entrevistado(a), as ações de resposta e os processos de tomada de decisão envolvidos. Por fim, deixou-se um espaço para o entrevistado(a) acrescentar quaisquer pontos que julgasse relevantes.

No percurso indicado na Figura 3.12 foram realizadas entrevistas semiestruturadas individuais e coletivas por grupos focais⁹. A articulação e engajamento de atores das etapas anteriores facilitaram o contato com lideranças, organizações e associações locais, bem como indivíduos de interesse para a pesquisa. As entrevistas receberam a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais da Universidade de Brasília – processo número 98071318.0.0000.5540. Os

⁹ Nota da autora: em virtude de limitações de saúde e calendário, a autora não participou das entrevistas de campo, realizadas por múltiplos membros da Rede CLIMA. No entanto, esteve ativamente envolvida nas atividades coletivas de planejamento, articulação com atores e lideranças regionais, workshops e seminários, seleção de participantes, roteiro de entrevista e percurso de campo, bem como na elaboração das estratégias de transcrição e análise.

participantes foram solicitados a assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, em anexo no Apêndice 2 depois que seu conteúdo e teor foram explicados e eventuais dúvidas esclarecidas. Os diálogos foram registrados em cadernetas e gravadores, posteriormente transcritos por membros da Rede CLIMA na Universidade de Brasília.

3.3.3 Validação e Confiabilidade

Dentre os objetivos desta análise qualitativa está justamente o de conferir a validade da ferramenta de avaliação da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental nos municípios do SMSF. A técnica de triangulação (ALEMU, 2016; CRESWELL, 2014), com o uso de múltiplos mecanismos de fontes e coleta de dados foi utilizada para conferir validade e confiabilidade aos dados. A consistência das dimensões discutidas em diálogos pré-campo com partes interessadas, os mapas de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, os dados de indicadores e a revisão da literatura, em conjunto com as entrevistas aponta para uma agenda convergente e representativa da realidade no SMSF.

3.3.4 Técnicas de análise

Uma vez realizadas as entrevistas, as gravações foram transcritas pelo grupo de pesquisa. Os documentos foram organizados conforme grupos de pertença, localização, entrevistadores e data. Para a codificação, leituras sucessivas das transcrições facilitaram o entendimento dos contextos para grupos distintos, permitindo identificar dados e percepções-chave sobre cada tema debatido. O software de análise qualitativa de dados NVIVO 12.6.0 foi utilizado.

Inicialmente, uma estrutura de indicadores proposta para a análise da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental, detalhada na componente quantitativa deste estudo, foi usada como referencial analítico na criação dos *nós* no sistema, representantes das dimensões da vulnerabilidade. À medida que os textos foram analisados, trechos das entrevistas que faziam referência a uma ou mais dimensões da vulnerabilidade foram codificados e inseridos nos respectivos nós. Outros *nós* foram criados quando uma dimensão ainda não coberta pela estrutura foi mencionada. A inclusão destes novos *nós* na estrutura de indicadores foi então avaliada, segundo características de generalidade e representatividade, disponibilidade de dados e relevância para o estudo.

3.4 COMPONENTE QUANTITATIVA

3.4.1 Construção do modelo de avaliação da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental

População, amostragem, instrumentos de coleta e análise

A análise quantitativa deste estudo está voltada para as populações dos municípios do SMSF. Portanto, definiu-se a análise da vulnerabilidade pela coleta de dados em nível municipal, frequentemente por indicadores representativos da unidade domiciliar ou familiar (por exemplo, o número de famílias com acesso à energia elétrica em relação ao número total de famílias no município). A adoção de todos os municípios se constitui, portanto, em amostragem probabilística que usa toda a população como amostra (ALEMU, 2016).

Foram utilizados dados estatísticos secundários de múltiplas fontes oficiais para a construção de indicadores e variáveis dependentes e independentes. As informações sobre coleta de dados, amostragem e coleta estão detalhadas na descrição das variáveis de estudo e construção de indicadores a seguir.

3.4.2 Variáveis independentes

Seleção de variáveis

A Agência Nacional de Águas (ANA) classifica os usos múltiplos da água entre usos consuntivos (quando a água retirada é consumida parcial ou totalmente e não retorna ao corpo d'água) e não consuntivos (que retornam ao corpo d'água o volume utilizado para seu fim). Essa denominação, no entanto, leva a uma falsa percepção de que os usos não consuntivos não geram conflitos entre usos e/ou usuários (ANA, 2019; CBHSF, 2013). Os usos consuntivos estão representados pelo abastecimento da agricultura irrigada, abastecimento humano e criação de animais, bem como da indústria de transformação, da geração de energia termelétrica e da mineração. A compreensão da competição entre estes usos é bastante intuitiva. No entanto, as demandas dos usos não consuntivos, dentre os quais se destacam a geração de energia hidrelétrica, a navegação e as demandas hídricas dos diversos serviços ecossistêmicos da bacia, inevitavelmente afetam a disponibilidade hídrica para os demais usos (CBHSF, 2013) e essa competição não aparece de forma tão evidente. A geração de energia hidrelétrica nas barragens de usos múltiplos, por exemplo, é uma atividade reconhecidamente reguladora dos fluxos e volumes no rio. Ela recebe importância nesta análise que se apoia na abordagem *nexus*, uma vez que a formação de barragens tem impacto direto

sobre a navegabilidade, a circulação de cardumes e manutenção da biodiversidade, o controle de cheias e demais serviços ambientais, o alagamento de áreas férteis, além de ocupar áreas habitadas causando profundas mudanças sociais e culturais na região (CBHSF, 2013).

Assim, foram escolhidos para esta análise tanto usos consuntivos quanto não consuntivos, a saber: consumo de água humano (rural e urbano), consumo de água para irrigação e o consumo de energia elétrica. A escolha dos dados se deu pela proximidade com as dimensões do *WEF Nexus* e potencial de uso como *proxies* dos usos múltiplos e conflitantes dos recursos hídricos para a garantia das seguranças hídrica, energética e alimentar.

Assim como o aporte das percepções dos atores locais são fundamentais para contextualizar o diagnóstico da vulnerabilidade, informações de precipitação fornecem contexto que ajustam as demandas e decisões sobre uso e manejo dos recursos hídricos para a garantia das seguranças hídrica, alimentar e energética. Consequentemente, exercem também influência sobre a vulnerabilidade das comunidades. Dados foram processados pela Subrede Saúde da Rede CLIMA a partir do histórico de temperatura acumulada mensal da base de dados do ERA-INTERIM, disponíveis de 1979 a 2019 (ECMWF, 2019; DEE *et al.*, 2011).

Como discutido adiante, a aplicabilidade do modelo de regressão linear múltipla está condicionada a premissas que devem prevalecer sobre as variáveis de estudo. Inicialmente, foram incluídas também como preditoras as vazões de consumo da indústria de transformação, mineração e abastecimento de água para criação e dessedentação de animais¹⁰. Esta última, em especial, tem forte relação direta com a segurança alimentar, enquanto as demais se relacionam indiretamente com aspectos das três seguranças *nexus* (seja pela garantia de emprego e renda, pelo processamento de alimentos, ou pelo fato de afetarem de forma direta a disponibilidade hídrica ao demandarem grandes retiradas, por exemplo). Contudo, estas variáveis apresentaram alta colinearidade com as demais variáveis independentes ou apresentaram resultados não significativos em relação à vulnerabilidade socioeconômica e ambiental. Um grande número de variáveis preditoras altamente correlacionadas entre si não é capaz de trazer informações únicas sobre a variável dependente – ou seja, elas são responsáveis por uma mesma porção da variável de resposta e comprometem a habilidade do modelo de encontrar relações estatisticamente significativas, inflando as variâncias e os erros padrão. As variáveis foram, portanto, descartadas por não agregarem ao modelo.

¹⁰ As vazões de consumo de água para usinas termelétricas foram descartadas por não se aplicarem aos municípios da SMSF, que não possuem unidades geradoras desta modalidade.

Vazões de consumo de água

Dados históricos da demanda hídrica total e setorial nos municípios do submédio Rio São Francisco foram obtidos da Agência Nacional de Águas, para o período de 2008 a 2014 (ANA, 2019). Os dados fazem parte de um esforço de definição de métodos, construção de dados, armazenamento e disponibilização de estimativas dos usos consuntivos para todos os municípios brasileiros, segundo a evolução da malha territorial do país desde 1931 e com estimativas a partir de 2017 até 2030.

Vazões de retirada, consumo e retorno, bem como a vazão total demandada pelo município expressos em metros cúbicos por segundo (m^3/s ou 1000 L/s), foram estimadas seguindo robusta metodologia elaborada pelo órgão, descrita com mais detalhes no Apêndice 3.

Vazão de consumo de água para abastecimento humano

Os dados de vazão de consumo rural e urbano para cada um dos 92 municípios do SMSF foram combinados de modo a evitar colinearidade entre as variáveis preditoras. Manteve-se assim a representatividade dos assentamentos rurais e urbanos no modelo de regressão linear ainda que em informação consolidada para o município, em detrimento do panorama das distintas realidades que a segregação dos dados poderia fornecer.

Os valores foram então normalizados pela vazão de consumo total do município, que consolida o consumo para fins de abastecimento humano rural e urbano, irrigação, criação e dessedentação de animais, indústria de transformação, mineração e geração de energia termelétrica (ANA, 2019). Em seguida, usou-se a transformação logarítmica decimal para reduzir o efeito do viés da distribuição dos dados normalizados e obter relações mais lineares que atendessem os critérios para uso do modelo de regressão linear múltipla. A avaliação das premissas está detalhada nas próximas seções.

Vazão de consumo de água para agricultura irrigada

Dentre os múltiplos usos, a agricultura irrigada utiliza a maior quantidade de água no Brasil e no mundo. Na região do SMSF se destaca a fruticultura, com forte presença de sistemas de microaspersão, aspersão e gotejamento (ANA, 2017). Destacam-se na região projetos públicos de irrigação em Petrolina, Rodelas e Curaçá.

De forma similar ao tratamento dos dados de consumo para abastecimento humano, as vazões de consumo para a agricultura irrigada foram normalizadas em relação ao consumo total de água do

município e então transformadas para a base logarítmica. Reduziu-se dessa forma o efeito do viés dos dados, possibilitando a análise de regressão linear.

Consumo de energia elétrica para uso residencial

O consumo de energia elétrica para uso residencial por município foi usado como *proxy* para as pressões das demandas da segurança energética colocadas sobre os recursos hídricos, em especial sobre o Rio São Francisco. Ainda que os sistemas de distribuição integrados não façam distinção sobre a origem de geração da energia elétrica, estima-se que cerca de 20% da energia elétrica gerada no estado da Bahia e 10% do estado de Pernambuco sejam de origem hidrelétrica(EPE, 2019). Considerando a proximidade dos municípios com o Rio São Francisco e os reservatórios de Sobradinho, Paulo Afonso 1, 2,3 e 4, Moxotó, Igaratiba e Xingó, pode-se estimar que o consumo de energia elétrica na região coloque pressão considerável sobre o rio.

Não foram encontrados dados de consumo por município durante a pesquisa. Ainda que as cobranças sejam feitas por domicílio e por código postal do consumidor, as companhias distribuidoras não consolidam os dados de consumo nessa escala. Deste modo, o indicador foi calculado a partir do consumo per capita (em GWh/hab), percentual de atendimento do município e número de habitantes. As séries históricas de consumo residencial per capita por estado foram obtidas do Balanço Energético Nacional (EPE, 2019). O percentual de atendimento foi calculado a partir dos dados do DataSUS sobre o número de famílias/domicílios no município e o número de famílias / domicílios com acesso a energia elétrica, incluindo domicílios sem fornecimento contínuo ou com instalações irregulares (ligações clandestinas, “gatos” e “gambiarras”) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016).

Tratamento dos dados

O consumo de energia elétrica para fins residenciais foi calculado conforme a equação (I) para cada ano do estudo:

(I)

$$\text{Consumo energia}_{\text{residencial}} = \frac{\text{domicílios com acesso a energia elétrica}}{\text{domicílios no município}} \cdot \text{consumo per capita}_{\text{residencial}} \cdot \text{população total}$$

Os dados foram então normalizados segundo os valores máximo e mínimo dentre os municípios do SMSF. Seguindo este método, o município de menor consumo recebeu o valor de 0 e o município de maior consumo recebeu o valor de 1. Os demais municípios receberam valores proporcionais a estes extremos. A escolha de parâmetros máximos e mínimos para a normalização

das variáveis seguiu a metodologia mais comum de normalização a índices de desenvolvimento humano (MARIANO, 2019), como o índice de desenvolvimento humano (PNUD; IPEA, FJP, 2016), que normaliza indicadores entre o universo estudado.

Por fim, os dados passaram por transformação logarítmica para evitar colinearidade entre as variáveis preditoras da regressão linear múltipla. Uma vez que para a metodologia de normalização, o valor de zero foi atribuído ao município de menor consumo, a transformação logarítmica foi feita a partir do (*consumo energia elétrica normalizado*+1) para cada município, evitando assim a função logarítmica inexistente do número zero e o consequente descarte da variável.

Precipitação acumulada mensal média

Marengo et al. (2018) atribuem à seca, em especial à estiagem iniciada em 2012, o comprometimento das seguranças hídrica e energética, da agricultura de subsistência, e dos sistemas sociais e naturais, sobretudo das pessoas em situação de alta vulnerabilidade socioeconômica. A região é uma das mais vulneráveis à desertificação, frequentemente afetada por eventos de seca comumente agravadas por efeitos de eventos de La Niña e El Niño, ou ambos, como foi o caso da última estiagem (respectivamente em 2011-2012 e 2015-2016) (MARENGO et al., 2018; IPCC, 2014). Grandes desvios negativos de precipitação do clima regular da região historicamente afetaram as produções agrícola e pecuária, a disponibilidade hídrica e as economias locais (MARENGO et al., 2018)

O forte consenso da comunidade científica sobre o impacto das mudanças climáticas, em especial das mudanças nas normais de precipitação no semiárido brasileiro indica que esta variável tem grande impacto na dinâmica de todos os indicadores da análise de regressão linear proposta (IPCC, 2014; IPCC, 2013). Deste modo, tanto a precipitação acumulada média quanto a variância foram incluídas para averiguar como elas afetam as relações entre as seguranças *nexus* e a vulnerabilidade.

As séries históricas de precipitação foram obtidas da base de dados de reanálises globais atmosféricas ERA-INTERIM gratuitas do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, que avalia dados históricos de tempo e clima para estimar condições de estado dos sistemas terrestres. Os dados fornecidos pela base de dados estão originalmente especializados em resolução de aproximadamente 80 km² (ECMWF, 2019; DEE et al., 2011) e foram processados pela Subrede Saúde da Rede CLIMA para que fornecessem valores em níveis municipais. Os resultados foram comparados aos dados coletados por estações pluviométricas locais para validação e apresentaram forte correlação.

Tratamento dos dados

Dados mensais de precipitação acumulada foram somados para cada ano do recorte do estudo para obtenção da precipitação anual acumulada e então divididos por doze para a obtenção da média mensal. Os dados foram então normalizados em relação aos municípios da região. O município com menor média de precipitação recebeu o valor de zero e aquele com maior média de precipitação acumulada recebeu o valor de um. Os demais foram normalizados de forma proporcional a estes extremos. Os dados passaram por transformação logarítmica e uma vez que para a metodologia de normalização, o valor de zero foi atribuído ao município de menor consumo, a transformação logarítmica foi feita a partir do *(precipitação acumulada mensal média do município+1)* para cada município, evitando assim a função logarítmica inexistente do número zero e o consequente descarte da variável.

Variância da precipitação acumulada mensal média

O nordeste brasileiro possui alta previsibilidade climática, sobretudo pela forte dependência de sua estação chuvosa das condições oceânicas e atmosféricas dos oceanos Pacífico e Atlântico. Deste modo, as dinâmicas de uso do solo, práticas agrícolas e de pesca, e até mesmo rituais culturais são planejados conforme as previsões das estações secas e chuvosas. Extremos de variabilidade intra e interanuais, associados à baixa capacidade adaptativa, baixo nível de instrução da população e escassez de recursos físicos, institucionais e humanos comprometem a capacidade de planejamento para a convivência com a seca.

Neste sentido, os valores médios da precipitação fornecem uma ideia do comportamento da variável nos municípios, mas esconde valiosas informações com graves implicações. Definiu-se então por incluir nas variáveis preditoras a variância da precipitação nos municípios do SMSF, considerando os valores acumulados mensais de cada ano e a existência de um mosaico de cenários que comprometem de formas distintas a disponibilidade hídrica na região: municípios com baixa precipitação e baixa variabilidade, baixa precipitação e alta variabilidade, alta precipitação e baixa variabilidade, alta precipitação e alta variabilidade. A variância, portanto, mede a dispersão estatística dos dados, uma medida de variabilidade que avalia distância entre os dados originais e os valores esperados.

Tratamento dos dados

Os dados de variância foram calculados a partir das informações sobre a precipitação acumulada mensal média nos municípios do SMSF obtidas das bases de reanálise dados globais atmosféricos ERA-INTERIM (ECMWF, 2019). Como nos demais casos, os dados passaram por transformação logarítmica de modo a obter relações lineares com a variável de saída e para evitar o efeito de escalas entre os distintos preditores.

A Tabela 3.4 resume os indicadores, os códigos utilizados e o tratamento dado para a normalização das variáveis de entrada do modelo de regressão linear.

Tabela 3.4 - Indicadores, codificação* e tratamento das variáveis predictoras

Indicador	Código da variável normalizada	Tratamento para normalização
Vazão de consumo de água para abastecimento humano	<i>n</i> cons_hum	$\log_{10}\left[\frac{(\text{consumo humano} + \text{consumo rural})}{\text{consumo total município}}\right]$
Vazão de consumo de água para a agricultura irrigada	<i>n</i> cons_irrig	$\log_{10}\left(\frac{\text{consumo irrigação}}{\text{consumo total município}}\right)$
Consumo de energia elétrica para uso residencial	<i>n</i> cons_energia1**	$\log_{10}\left(\frac{\text{consumo}_{\text{município}} - \text{consumo}_{\text{mun de menor consumo}}}{\text{consumo}_{\text{mun de maior consumo}} - \text{consumo}_{\text{mun de menor consumo}}} + 1\right)$
Precipitação acumulada mensal média	<i>n</i> precip1**	$\log_{10}\left(\frac{\sum \text{precipitações mensais acumuladas}_{\text{município}}}{12} + 1\right)$
Variância da precipitação mensal média	<i>n</i> varprecip	$\log_{10}\left[\text{variância}\left(\frac{\sum \text{precipitações mensais acumuladas}_{\text{município}}}{12}\right)\right]$

*A letra n que precede os códigos diferencia as variáveis normalizadas das não normalizadas.

** O numeral 1 que sucede os códigos indica a transformada logarítmica da variável + 1, para diferenciá-la da transformada logarítmica direta.

Fonte: elaborado pela autora.

3.4.3 Variáveis dependentes

O investimento em dados estatísticos de sensibilidade é um processo chave para o monitoramento do desenvolvimento e embasamento para as ações de adaptação nas comunidades e povos mais vulneráveis do país. Dados de qualidade, oportunos, acessíveis, confiáveis e desagregados são necessários para mapear lacunas, medir e monitorar avanços e direcionar esforços. A escassez de dados em diversas áreas tais como conhecimentos locais e tradicionais, o impacto de grandes obras de infraestrutura e a experiência de mulheres no combate à pobreza, por exemplo, limita a avaliação das ações mais efetivas no combate às mudanças climáticas (UN-WOMEN; UN DESA; UNFCCC, 2015). A discussão das mudanças climáticas na principal pauta das políticas de desenvolvimento

social ainda é negligenciada, a despeito da grande de informação e evidenciação disponíveis. A medição da vulnerabilidade, neste sentido, se executada com rigor e comunicada de forma efetiva, possui o potencial de fornecer perspectivas importantes e subsídio à pesquisa e às decisões políticas. Em nível global, a utilização de indicadores para a medição das metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, respaldada pela experiência dos Objetivos do Milênio, indicam para a relevância e importância dessa ferramenta para o desenvolvimento e para o combate à pobreza.

O Brasil dispõe de um sistema fortalecido de geração de dados estatísticos, com liderança técnica do órgão coordenador das estatísticas nacionais feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), em conjunto com outros atores como o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), os dados do Sistema Único de Saúde (DataSUS), além do envolvimento ativo de Ministérios e Secretarias no levantamento de indicadores fundamentais através de programas como o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS). O IBGE presidiu a Comissão de Estatística das Nações Unidas (United Nations Statistics Division) no ano de 2016 quando os indicadores para acompanhamento da evolução dos ODS foram propostos (UNSTATS, 2016; SECRETARIA DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS, 2016) reforçando o protagonismo do país no levantamento de dados como parte da Agenda 2030.

O objetivo deste estudo é observar as relações entre as seguranças hídrica, alimentar e energética e a vulnerabilidade social, econômica e ambiental às mudanças climáticas nos municípios do SMSF. Assim, as questões colocadas por Füssel (2005) (Quem e o que é vulnerável? Quando e a que é vulnerável? Como é vulnerável?) são definidoras do método adotado, dos indicadores e recorte temporal.

Deu-se foco aos indicadores das populações medidos em escala individual nos períodos pré-estígio (2008-2009) e pós-impacto (2010-2014). A disponibilidade de dados também foi definidora do recorte temporal. A seleção preliminar de indicadores de sensibilidade e capacidade adaptativa foi ajustada do levantamento inicial feito pela Rede CLIMA para o PI SSA (PI SSA, 2017a) conforme disponibilidade e acessibilidade dos dados na escala municipal. Indicadores diversos foram descartados por limitações em sua obtenção, como o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), índice de desenvolvimento humano municipal (IDHm), dados do Cadastro Único para Programas Sociais do Governo Federal (CadÚnico), entre outros. Dados de vulnerabilidade social e econômica são frequentemente indissociáveis (por exemplo, dados de trabalho e renda são ao mesmo tempo de relevância social e econômica). Mesmo os dados ambientais, diretamente relacionados aos

recursos naturais, como dados de quantidade e qualidade da água, podem ser considerados de forte relevância social. Para os objetivos deste estudo, não é de suma relevância a separação destas categorias e, portanto, os indicadores ambientais, sociais e econômicos foram associados em uma única dimensão para facilitar o tratamento dos dados.

A técnica de indicadores não busca esgotar as múltiplas dimensões da vulnerabilidade, que é reconhecidamente um tema complexo, de diversas causas e fortemente dependente do contexto. Buscou-se, no entanto, obter um retrato mínimo de características dos municípios que fosse robusto e representativo da realidade e população locais. A inclusão de percepções e valorações de atores, considerados durante todo o processo da pesquisa, esteve entre as prioridades metodológicas do PI SSA. Buscou-se trazer aportes da população-alvo em todos os momentos do estudo, desde a escolha dos territórios e definição de indicadores à contextualização de suas percepções na interpretação de hipóteses e análise de resultados. Em processo de retroalimentação, a estrutura de indicadores preliminar foi utilizada também como referencial analítico para a avaliação das entrevistas semiestruturadas realizadas em 2018 em 17 cidades do SMSF, como descrito na componente qualitativa do método. Os temas de cada indicador, representantes das dimensões da vulnerabilidade, foram usados para a criação dos *nós* na análise das narrativas. A frequência com que os temas apareceram serviram de validação para as dimensões e indicadores escolhidos. Ainda que o uso de indicadores seja uma técnica reducionista de retratar a realidade, as colaborações dos atores por meio das entrevistas aportaram legitimidade à visão da vulnerabilidade local. A Tabela 3.5 resume a estrutura proposta para a análise de indicadores e identifica as contribuições resultantes do processo de retroalimentação uma vez avaliadas as entrevistas. O processo e resultado desta etapa são discutidos em detalhes no capítulo quatro e nos métodos de análise qualitativos.

Tabela 3.5 - Estrutura de indicadores, taxonomia, fontes e séries temporais disponíveis

Vulnerabilidade socioeconômico-ambiental				
Indicador	Dimensão da vulnerabilidade	Taxonomia	Fonte	Série temporal disponível (anual)^a
Acesso à água ^b	Água	Sensibilidade	SNIS	1995 a 2018
Forma de abastecimento de água	Água	Capacidade adaptativa	DataSUS	1998 a 2014
Qualidade do tratamento de água para consumo ^b	Água	Sensibilidade	DataSUS	1998 a 2014
Volume de tratamento de água do município	Água	Capacidade adaptativa	SNIS	1998 a 2018
Acesso a tratamento de esgoto ^b	Esgoto / Saneamento	Sensibilidade	SNIS	1998 a 2018
Tipo de esgotamento sanitário ^b	Esgoto / Saneamento	Capacidade adaptativa	DataSUS	1998 a 2014
Volume de tratamento de esgoto do município	Esgoto / Saneamento	Capacidade adaptativa	SNIS	1998 a 2018
Tratamento de lixo ^b	Lixo	Capacidade adaptativa	DataSUS	1998 a 2014
Cobertura do solo ^b	Vegetação	Sensibilidade	Mapbiomas	1985-2018
IDEB ^b	Educação	Capacidade adaptativa	INEP	anos ímpares 2005 a 2017
	Educação	Capacidade adaptativa	FIRJAN	2005 a 2016
IFDM Educação ^b		Capacidade adaptativa	FIRJAN	
IFDM Emprego e renda ^b	Trabalho e renda	Capacidade adaptativa	FIRJAN	2005 a 2016
IFDM Saúde ^b	Saúde	Sensibilidade	FIRJAN	2005 a 2016
Acesso à energia ^b	Infraestrutura	Sensibilidade	DataSUS	1998 a 2014
Material e revestimento do domicílio	Infraestrutura	Capacidade adaptativa	DataSUS	1998 a 2014
PIB per capita municipal ^b	Trabalho e renda	Capacidade adaptativa	DataSUS	1998 a 2014
Valor da produção de lavouras temporárias e permanentes ^c	Trabalho e renda	Capacidade adaptativa	SIDRA - IBGE	1974 a 2017
Valor da produção pecuária ^c	Trabalho e renda	Capacidade adaptativa	SIDRA - IBGE	1974 a 2017
Mortalidade geral ^b	Saúde	Sensibilidade	DataSUS	1998 a 2014
Óbitos por diarreia em crianças menores de um ano	Saúde	Sensibilidade	DataSUS	1998 a 2014
Óbitos infantis	Saúde	Sensibilidade	DataSUS	1998 a 2014
Óbitos maternos	Saúde	Sensibilidade	DataSUS	1998 a 2014
Hospitalizações por desidratação em crianças menores de 5 anos	Saúde	Sensibilidade	DataSUS	1998 a 2014
Número de crianças menores de um ano desnutridas	Saúde	Sensibilidade	DataSUS	1998 a 2014

Número de hipertensos cadastrados no município ^d	Saúde	Sensibilidade	DataSUS	1998 a 2015
---	-------	---------------	---------	-------------

^a disponibilidade no momento da busca de dados

^b dimensões validadas pela análise qualitativa

^c indicadores modificados após a análise qualitativa

^d indicador incluído após a análise qualitativa

Fonte: elaborado pela autora.

Descrição dos indicadores

A Tabela 3.5 mostra a composição das nove variáveis utilizadas para representar a componente ambiental da vulnerabilidade. Três aspectos foram observados: manejo dos recursos hídricos, proteção do meio ambiente e qualidade ambiental. Esta seção descreve os dados e tratamento usados em cada variável com mais detalhes.

BOX 1 – Importante: como ler o sistema de pontuação

Cada indicador está associado a critérios de valoração relacionados aos diferentes graus de vulnerabilidade. Para todas as variáveis, o tratamento de normalização teve como objetivo designar valores adimensionais entre zero e um a cada par de dados (variável, município/ano), de modo que as unidades de medida muito discrepantes entre os dados não influenciassem a composição do índice.

Durante o tratamento dos dados para compor os **indicadores**, o processo de valoração respeitou a natureza lógica e intuitiva da variável de modo a preservar a qualidade da informação. Por exemplo: a análise do indicador de atendimento das redes esgoto nos municípios atribuiu o valor máximo (1,0) aos domicílios com canalização para a rede pública; valor intermediário (0,5) àqueles que utilizassem fossas; e valor mínimo (0,0) às famílias sem qualquer infraestrutura para o descarte de esgoto. Deste modo, a qualidade do dado foi preservada, uma vez que ele é medido pela *população atendida*, e não pela *população não atendida*. A maioria da população, de fato, tem acesso ao sistema de rede pública de esgoto e essa fração recebeu nota máxima, ao invés de zerar os dados mais precisos. Pela mesma lógica (porém contrária), o indicador de hospitalizações por desidratação foi calculado pelo número de pessoas hospitalizadas e não pela população que não foi hospitalizada.

No momento da composição do **índice**, no entanto, todos os indicadores foram transformados de modo que a nota zero fosse atribuída à condição menos vulnerável, enquanto a nota um representasse maior vulnerabilidade. Deste modo, o valor final do índice tem sentido intuitivo que facilita a cognição (i.e., em um índice de vulnerabilidade, o valor mais alto é mais vulnerável), bem como sentido lógico que permite interpretações.

Sempre que possível, as variáveis foram normalizadas com dados do próprio município (por exemplo, o total de residentes no município com abastecimento de água foi dividido pela população total do município no mesmo ano) para compor os indicadores. Em outros casos, os dados foram normalizados entre o conjunto de municípios do recorte do estudo, como o produto interno bruto per capita (PIB per capita). Atribuiu-se o valor de zero (0,0) ao município de menor PIB e o valor de um (1,0) ao município de maior PIB. Os demais municípios receberam notas proporcionais a estes valores.

Nota-se que estes valores são relativos e não devem ser interpretados como representações literais da condição do município. Assim, a atribuição da nota um (1,0) a uma localidade para o esgotamento sanitário (que neste caso significa

que 100% dos municípios são atendidos pela rede pública de esgoto) não significa que o sistema não contenha vulnerabilidades.

Os dados relacionados à água foram retratados em quatro indicadores que representam diferentes aspectos do conceito de segurança hídrica adotado neste estudo. O acesso à água foi calculado a partir do total da população residente do município com abastecimento de água, normalizado pela população total de cada município no mesmo ano, de modo que cada município recebesse um valor entre zero e um (SNIS, 2019; IBGE, 2015). As informações foram obtidas do SNIS, que reúne dados de múltiplas fontes sobre água, esgoto e resíduos sólidos em nível municipal. A forma de abastecimento de água está relacionada à perenidade e constância do recurso. Dados do Sistema de Informação da Atenção Básica – Situação de Saneamento do DataSUS (SIAB DataSUS) informam o número de domicílios¹¹ por município com abastecimento de água conforme classificação do IBGE do Censo de 2010 (DATASUS, 2017; IBGE, 2010). Atribuiu-se o valor mais alto (1) às famílias servidas de água proveniente de rede geral de abastecimento no domicílio ou peridomicílio; intermediário (0,5) àquelas com acesso a poço ou nascente próprios; e menor (0) aos domicílios servidos por outras fontes de água como água de chuva, carro-pipa, apanhada em fonte pública, poço ou bica, fora do domicílio ou peridomicílio. Os dados valorados foram somados e normalizados pelo número de domicílios/famílias do município. A qualidade da água para consumo foi avaliada também segundo o DataSUS e classificações do IBGE: atribuiu-se nota máxima (1,0) aos domicílios que ferviam a água; notas intermediárias àqueles que filtravam (0,66) e cloravam (0,33) a água; e nota mínima (0,0) aos domicílios que não faziam qualquer tipo de tratamento (DATASUS, 2017). Esta valoração segue a hierarquia de segurança e cuidados com a água destinada ao consumo humano recomendada pelo Ministério da Saúde (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014). Os dados valorados de cada categoria somados e o valor total foram normalizados e divididos pelo número total de domicílios/famílias do município. Por fim, o volume de tratamento de água para o município adiciona ao conceito de segurança hídrica em relação à qualidade do recurso natural, importante tanto para os sistemas humanos quanto para os ecossistemas. O indicador foi dado pela relação entre o volume de água tratado em estações de tratamento de água e o volume de água produzido pelo município (SNIS, 2019).

¹¹ O DataSUS utiliza dados gerados a partir do trabalho de equipes de Saúde da Família e Agentes de Comunitários de Saúde. A base dos dados é gerada em torno da unidade familiar, considerada equivalente a um domicílio.

Dados de acesso, tipo e volume de tratamento de esgoto completam a noção de segurança hídrica para uma vida limpa e que garanta a proteção do meio ambiente. Os dados de acesso foram calculados a partir de dados do SNIS e IBGE (SNIS, 2019; IBGE, 2015). A população total residente no município com acesso a esgotamento sanitário foi normalizada com a população total do município para cada ano. O tipo de esgotamento sanitário se refere ao destino dado às fezes e urina do domicílio (DATASUS, 2017). Atribuiu-se o valor máximo (1,0) aos domicílios com canalização para a rede pública geral do sistema de esgoto; valor intermediário (0,5) àqueles que destinam as fezes e urina a qualquer tipo de fossa; e valor mínimo (0,0) às famílias sem qualquer tipo de infraestrutura e que fazem uso da rua, de quintal ou riachos, por exemplo, para o descarte de esgoto. A soma valorada do número de domicílios em cada categoria foi normalizada pelo número total de famílias no município. O volume de esgoto tratado no município foi normalizado como a fração do volume total de esgoto coletado, uma vez que não é conhecido o total produzido. Os dados foram obtidos do SNIS (SNIS, 2019).

O tratamento do lixo domiciliar e a área de vegetação do município representam a componente de qualidade do meio ambiente e dos ecossistemas na medição da vulnerabilidade. O destino dado aos resíduos sólidos em cada domicílio (DATASUS, 2017) foi usado como critério de valoração: nota máxima (1,0) aos domicílios com acesso a coleta por serviço, empresa pública ou particular; nota intermediária (0,5) aos domicílios que enterrassem ou queimassem o lixo; e nota mínima (0,0) àqueles que dispusessem do lixo a céu aberto. Dados de uso e cobertura do solo foram obtidos do Projeto Mapbiomas, que usa classificação automática a partir de imagens de satélite para a geração de mapas e séries históricas (PROJETO MAPBIOMAS, 2020). Para cada município, foram somadas as áreas classificadas como florestas e como formação natural não florestal. Os valores foram então normalizados como uma fração da área total do município.

O índice de desenvolvimento da educação básica (IDEB) e o índice FIRJAN de desenvolvimento municipal (IFDM) foram selecionados para avaliar o papel da educação na vulnerabilidade dos municípios (INEP, 2020; FIRJAN, 2020). Foram utilizados os dados do IDEB sobre escolas públicas (federais, estaduais e municipais) para os anos iniciais (quarta série / quinto ano), que combinam informações de desempenho dos exames padronizados com dados sobre rendimento escolar para avaliar a qualidade do ensino básico (INEP, 2020). Esse recorte é de especial importância para o público-alvo e os municípios do SMSF. Uma vez que o índice é reavaliado nos anos ímpares, os dados para os anos faltantes para o recorte temporal do estudo (2008, 2010, 2012 e 2014) foram interpolados a partir dos dados de 2007 a 2015. Os dados para cada ano foram

interpolados a partir do par de dados dos anos imediatamente anteriores e posteriores, de forma a retratar valores mais próximos do contexto e do momento (em relação a uma interpolação linear que considerasse todos os anos). O índice atribui aos municípios uma nota agregada das escolas, variando entre zero e 10. Para normalização, esse valor foi dividido por 10. O IFDM monitora o desenvolvimento socioeconômico brasileiro em nível municipal consolidando com igual ponderação três vertentes do desenvolvimento: emprego e renda, educação e saúde (FIRJAN, 2020). O IFDM educação considera seis áreas de competência municipal, para escolas públicas e privadas: o próprio IDEB, entre eles, é o único indicador de resultado. São considerados também o atendimento à educação infantil, abandono no ensino fundamental, distorção idade-série, nível de instrução dos docentes e a média de horas-aula no ensino fundamental. O IFDM considera a nota do IDEB para todos os anos e para as escolas públicas e privadas, e, portanto, não se sobrepõe ao uso do IDEB para os anos iniciais para a rede pública como variável separada, permitindo interpretações distintas. Uma vez que o índice varia entre zero e um, não foi necessário tratamento para normalização dos dados.

Informações relacionadas a trabalho e renda foram incorporadas nos indicadores do produto interno bruto municipal per capita, valor da produção de lavouras e da pecuária, além da componente de emprego e renda do IFDM. O IFDM emprego e renda está baseado em áreas que avaliam a geração de emprego, o nível de absorção da mão de obra local, geração e distribuição de renda no mercado de trabalho do município (FIRJAN, 2020). A componente de emprego considera a geração de postos de trabalho formais para o ano base e para o triênio anterior (para avaliar a constância dos empregos gerados), mas também possui um mecanismo que penaliza eventuais retrações do mercado formal nestes mesmos recortes temporais. Avalia, também, a taxa de formalização de empregos comparando o número de indivíduos empregados conforme a legislação trabalhista brasileira com a população em idade ativa estimada conforme a PNAD. A componente de renda considera o crescimento real do salário médio mensal dos munícipes em relação ao ano anterior e em relação ao triênio anterior. Também possui um mecanismo de penalização para eventuais diminuições da média salarial. O indicador de massa salarial avalia a contribuição do município para a economia e sua capacidade de geração de renda por meio do emprego formal. Por fim, o índice de Gini, que avalia a distribuição de renda, é incorporado, uma vez que a desigualdade reforça características que impedem o desenvolvimento e perpetuam a pobreza (FIRJAN, 2020). O produto interno bruto é a medida tradicionalmente utilizada para avaliar o desenvolvimento econômico nas distintas escalas. Ainda que não necessariamente se reflita na melhoria da vulnerabilidade local de forma equânime, o PIB municipal tem o potencial de gerar efeito multiplicador na economia pela geração de empregos e

arrecadação fiscal. O PIB per capita municipal foi calculado a partir de dados anuais sobre o produto interno bruto municipal e a população obtidos do acervo de dados municipais do SIDRA IBGE (IBGE, 2020). Os dados foram normalizados segundo os valores máximo e mínimo dentre os municípios do SMSF. A normalização atribuiu ao município de menor PIB per capita o valor mínimo (0,0) e ao município de maior PIB per capita o valor máximo (1,0). O valor anual da produção de lavouras temporárias e permanentes, bem como os valores da produção pecuária também foram obtidos da base de dados do SIDRA IBGE (IBGE, 2020). Estes indicadores refletem a importância da agropecuária para a economia da região, que se destaca nacionalmente pela indústria da fruticultura, mas também ressalta o papel da agricultura familiar na garantia da segurança alimentar local. Em ambos os indicadores o valor da produção foi utilizado como referência. A disponibilidade hídrica exerce papel fundamental neste setor produtivo e influencia as escolhas de lavouras e animais para criação, que possuem distintos rendimentos e potencial de faturamento. Deste modo, o valor da produção, em lugar da produtividade na agricultura e do número de cabeças na pecuária, retrata os impactos da estiagem de maneira mais fiel. A normalização dos indicadores também seguiu o modelo comparativo entre os municípios, atribuindo valores proporcionais ao município de maior produção e ao município de menor produção.

Indicadores de saúde são um reflexo da vulnerabilidade: podem ser entendidos como impacto dependendo do fenômeno estudado, ou como vulnerabilidade se entendidos como aspecto das condições sociais que tornam as populações mais vulneráveis. São, portanto, expressão da vulnerabilidade, resultado dos contextos sociais e econômicos que condicionam a intensidade dos impactos. Portanto, informações de saúde e de segurança alimentar e nutricional foram contabilizadas na avaliação da vulnerabilidade. Definiu-se pela componente de saúde do IFDM e dados do DataSUS relacionados à mortalidade e ocorrência de doenças relacionadas à nutrição e à qualidade e quantidade de água para consumo humano. O IFDM saúde considera dados da saúde básica de competência municipal como atendimento pré-natal, óbitos e internações (FIRJAN, 2020). Entre os indicadores de saúde obtidos do SIAB DataSus, buscou-se aqueles que estivessem mais relacionados às seguranças hídrica e alimentar / nutricional: óbitos por diarreia em crianças menores de um ano, hospitalização de crianças por desidratação, número de crianças menores de um ano desnutridas. Avaliou-se também os números de óbitos infantil e materno, bem como a mortalidade geral no município. Por fim, diante da suspeita de salinização da água e dos relatos de aumento de casos de hipertensão entre a população local, incluiu-se o número de hipertensos cadastrados no município (DATASUS, 2017). Usou-se o número de hipertensos cadastrados no mês de dezembro, uma vez que

os dados são informados em termos de atualização do número de cadastrados por mês e não o total de cadastramentos no ano. Os dados de óbitos foram normalizados como frações da mortalidade geral (contabilizada em número de óbitos totais). A mortalidade geral e enfermidades foram normalizadas em relação à população total do município. Para seguir o padrão adotado para os indicadores de que valores mais próximos de zero representam uma maior vulnerabilidade e valores próximos de um significam menor vulnerabilidade, os valores normalizados foram transformados pela lógica (*1-valor normalizado*).

A infraestrutura dos domicílios, como o acesso à energia e os materiais e revestimentos da construção afetam diretamente a sensibilidade da população a extremos climáticos. O número de domicílios atendidos pelos serviços de energia elétrica nos municípios foi obtido do SIAB – Situação de Saneamento do DataSUS, incluindo domicílios sem fornecimento contínuo ou com instalações irregulares (ligações clandestinas, “gatos” e “gambiarras”) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2016). A normalização se deu pelo cálculo da fração de atendimento em relação ao número total de domicílios no município. A condição da infraestrutura dos domicílios foi valorada conforme o tipo e qualidade da parede da construção. Casas de tijolo, adobe, adobão e semelhantes receberam valor máximo (1,0), assim como outros materiais de construção (pedra, concreto, etc). Valores intermediários foram atribuídos às paredes de taipa revestidas por reboco ou emboço (0,75); paredes de taipa não revestidas (0,5); e madeira (0,25). Paredes de materiais impróprios aproveitados para a construção, como papelão, plástico, lona, palha e flandres receberam o valor mínimo (0,0). A soma valorada do número de domicílios de cada categoria foi normalizada pelo número total de domicílios no município.

A

Tabela 3.6 sintetiza a codificação e o tratamento dado às variáveis usadas para avaliar a vulnerabilidade às mudanças climáticas para o modelo de regressão linear múltipla.

Tabela 3.6 - Indicadores, codificação^a e tratamento das variáveis de vulnerabilidade socioeconômica

Indicador	Código da variável normalizada	Tratamento para normalização para composição do índice^b
Acesso à água	<i>n</i> acesso_agua	1 – (população com acesso à água/população total)
Forma de abastecimento de água	<i>n</i> forma_abast	$1 - \left\{ \frac{[(rede pública \times 1) + (poço ou nascente \times 0,5) + (ab. outros \times 0)]}{número famílias} \right\}$
Qualidade do tratamento de água para consumo	<i>n</i> qual_agua	$1 - \left\{ \frac{[(filtrada \times 0,5) + (fervida \times 0,8) + (clorada \times 0,5) + (água sem tratar \times 0)]}{número famílias} \right\}$
Volume de tratamento de água do município	<i>n</i> agua_eta	1 – (água tratada/água produzida)
Acesso a tratamento de esgoto	<i>n</i> acesso_esgoto	1 – (população com acesso a esgotamento sanitário/população total)
Tipo de esgotamento sanitário	<i>n</i> saneamento	$1 - \left\{ \frac{[(esgoto \times 1) + (fossa \times 0,5) + (céu aberto \times 0)]}{número famílias} \right\}$
Volume de tratamento de esgoto do município	<i>n</i> esgoto_tratado	1 – (esgoto tratado/ esgoto produzido)
Tratamento de resíduos	<i>n</i> lixo	$1 - \left\{ \frac{[(coletado \times 1) + (queimado ou enterrado \times 0,5) + (céu aberto \times 0)]}{número famílias} \right\}$
Cobertura do solo	<i>n</i> vegetação	1 – {[área floresta) + (área formação natural não florestal)]/área município}
IDEA	<i>n</i> ideb	1 – (nota ideb/10)
IFDM Educação	<i>n</i> ifdm_e	1 – nota ifdm educação
IFDM Emprego e renda	<i>n</i> ifdm_er	1 – nota ifdm emprego e renda

Tabela 3.7 - Indicadores, codificação^a e tratamento das variáveis de vulnerabilidade socioeconômica (cont.)

Indicador	Código da variável normalizada	Tratamento para normalização para composição do índice^b
IFDM Saúde	<i>nifdm_s</i>	1 – nota ifdm saúde
PIB per capita municipal	<i>npib_capita</i>	$1 - \frac{(\text{PIB per capita}_{\text{município}} - \text{PIB per capita}_{\text{mun.de menor PIB p.c.}})}{(\text{PIB per capita}_{\text{mun.de maior PIB p.c.}} - \text{PIB per capita}_{\text{mun.de menor PIB p.c.}})}$
Valor da produção de lavouras temporárias e permanentes	<i>nlavouras</i>	$1 - \frac{(\text{valor lavouras}_{\text{município}} - \text{valor lavouras}_{\text{mun.de menor valor}})}{(\text{valor lavouras}_{\text{mun.de maior valor}} - \text{valor lavouras}_{\text{mun.de menor valor}})}$
Valor da produção pecuária	<i>npecuaria</i>	$1 - \frac{(\text{valor pecuária}_{\text{município}} - \text{valor pecuária}_{\text{mun.de menor valor}})}{(\text{valor pecuária}_{\text{mun.de maior valor}} - \text{valor pecuária}_{\text{mun.de menor valor}})}$
Mortalidade geral	<i>nmortalidade_geral</i>	$\frac{\text{mortalidade geral}}{\text{população total}}$
Óbitos infantis	<i>nobitos_inf</i>	$\frac{\text{óbitos}_{\text{infantis}}}{\text{mortalidade geral}}$
Óbitos maternos	<i>nobitos_mat</i>	$\frac{\text{óbitos}_{\text{maternos}}}{\text{mortalidade geral}}$
Óbitos por diarreia em crianças menores de um ano	<i>nobitos_diarreia</i>	$\frac{\text{óbitos}_{\text{diarreia}}}{\text{mortalidade geral}}$
Hospitalizações por desidratação em crianças menores de 5 anos	<i>ndesidratacao</i>	$\frac{\text{hospitalizações}_{\text{desidratação}}}{\text{população total}}$
Número de crianças menores de um ano desnutridas	<i>ndesnutricao</i>	$\frac{\text{registros}_{\text{desnutrição}}}{\text{população total}}$
Número de hipertensos	<i>nhipertensao</i>	$\frac{\text{registros}_{\text{hipertensos}}}{\text{população total}}$
Acesso à energia	<i>nenergia</i>	$1 - \frac{\text{domicílios com acesso a energia elétrica}}{\text{domicílios no município}}$
Material e revestimento do domicílio	<i>nhabitacao</i>	$1 - \{[(\text{tijolo} \times 1) + (\text{outros materiais} \times 1) + (\text{taipa revestida} \times 0,75) + (\text{taipa não revestida} \times 0,5) + (\text{madeira} \times 0,25) + (\text{materiais impróprios} \times 0)] / \text{número famílias}\}$

^a A letra *n* que precede os códigos diferencia as variáveis normalizadas das não normalizadas.

^b Observar o BOX 1 para o sistema de pontuação.

Fonte: elaborado pela autora.

3.4.4 Técnicas de análise de dados

A análise dos dados coletados se deu por dois métodos. Inicialmente, um índice auxiliar de vulnerabilidade socioeconômica e ambiental permitiu a agregação dos dados de vulnerabilidade coletados. Em seguida, o índice foi usado como variável dependente (ou de saída) na análise de regressão linear múltipla.

3.4.5 Índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental

O objetivo principal deste estudo foi avaliar a relação entre as pressões das dimensões do *nexus* água-energia-alimento sobre a vulnerabilidade das populações do submédio curso do rio São Francisco. Para tal, foram adotados como *proxies* destas três dimensões o consumo de água para abastecimento humano, o consumo de água para a irrigação e o consumo de energia elétrica no município, que serviram como variáveis de entrada, ou preditoras, no modelo de regressão linear múltipla. Pôde-se assim avaliar como estas dimensões em conjunto afetam a vulnerabilidade.

O modelo de regressão linear múltipla permite a avaliação de diversas variáveis de entrada, que devem ser independentes, e sua relação com uma única variável de saída. Portanto, criou-se um Índice de Vulnerabilidade Socioeconômico e Ambiental (iVSEA), que agrega os indicadores selecionados na

Tabela 3.5. O índice foi calculado a partir da média aritmética dos valores normalizados dos indicadores. Os valores para cada município, portanto, variam de zero a um, sendo um (1,0) o valor atribuído ao município mais vulnerável e zero (0,0) ao menos vulnerável. Este índice não busca esgotar a caracterização da vulnerabilidade nos distintos municípios e foi criado como variável de função auxiliar para o modelo de regressão linear. Uma vez que as dimensões de avaliação dos indicadores foram co-construídas com conhecimento específico local, não se pretende com isso criar mais um índice de medição da vulnerabilidade para fins de replicabilidade ou comparação. Parte dos dados foram normalizados entre si, e, portanto, as avaliações e relações entre as variáveis são de relevância apenas para a região.

Os dados coletados foram tabulados em planilhas de variáveis de entrada e saída, por ano e por município. O tratamento foi conduzido utilizando a ferramenta *Jupyter Notebook*, uma ferramenta *open-source* que combina aspectos de código e caderno de notas, facilitando deste modo a transparência e a reprodutibilidade do experimento, além de permitir a publicação de metadados com facilidade. A ferramenta é um sistema hospedado na rede mundial de computadores que permite o desenvolvimento, documentação e execução de códigos, bem como a comunicação de resultados (JUPYTER TEAM, 2015). A interface combina múltiplas linguagens de programação, permitindo por exemplo o uso combinado de dados trabalhados em Excel e Stata. A programação foi feita em python, conhecida e poderosa linguagem de programação amplamente usada em pesquisa e estatística. Assim, foi possível fazer uso de robustas bibliotecas de programação pré-desenvolvidas como pandas, statsmodels, numpy, matplotlib e seaborn, todas disponíveis na internet.

3.4.6 Análise de regressão linear múltipla

A análise de regressão linear múltipla (RLM) foi utilizada para avaliar a relação entre o consumo de energia elétrica, o consumo de água para abastecimento humano e para a agricultura irrigada com a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental nos 92 municípios do SMSF, no período de 2008 a 2014. Toda as variáveis independentes (*ncons_energia*; *ncons_hum*; *ncons_irrig*) e a variável dependente (*iVSEA*) são contínuas. A variável dependente consiste em um índice auxiliar que agrega informações sobre vulnerabilidade ambiental, social e econômica nos municípios, composto por 25 indicadores.

Mais detalhes do processo de programação estão no Apêndice 3. A Tabela 3.8 mostra as hipóteses de relacionamento testadas e analisadas, as hipóteses nulas e a natureza de cada uma das variáveis. Destacam-se as hipóteses A e B, que avaliam as relações entre as variáveis respectivamente

sem e com a influência da precipitação. As demais hipóteses auxiliares são de especial relevância para o método e a lógica *nexus*: as hipóteses A.1, A.2 e A.3 avaliam a diferença entre a análise da influência das variáveis sobre a vulnerabilidade quando observadas individualmente, em relação à análise conjunta da hipótese A. De maneira similar, as hipóteses B.1 e B.2 se relacionam com a hipótese B.

A análise de regressão linear múltipla foi selecionada conforme os modelos de decisão para testes estatísticos de relacionamento entre múltiplas variáveis contínuas independentes e uma variável dependente apresentados por Alemu (2016) e o programa Laerd Statistics (2015).

Em um segundo momento, dados de precipitação média mensal e variância da precipitação mensal foram incluídos como variáveis preditoras no modelo de regressão linear, uma vez que a disponibilidade hídrica nos municípios e os valores de consumo e retirada a partir do Rio São Francisco são diretamente afetados pelo regime de chuvas. As análises foram então repetidas de modo a reavaliar como a exposição às mudanças do clima afetam a dinâmica das seguranças hídrica, alimentar e energética com a vulnerabilidade.

Tabela 3.8 - Hipóteses de pesquisa e natureza das variáveis

Hipótese alternativa	Hipótese nula	Variável dependente	Variáveis independentes / categorias
A. Existe uma relação entre o <i>consumo de energia elétrica, consumo de água para abastecimento humano e para a irrigação</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Não existe uma relação entre o <i>consumo de energia elétrica, consumo de água para abastecimento humano e para a irrigação</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Vulnerabilidade Socioeconômico-ambiental	Consumo de energia elétrica; Consumo de água para consumo humano; Consumo de água para a agricultura irrigada
1. Existe uma relação entre o <i>consumo de energia elétrica</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Não existe uma relação entre o <i>consumo de energia elétrica</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Vulnerabilidade Socioeconômico-ambiental	Consumo de energia elétrica para uso residencial
2. Existe uma relação entre o <i>consumo de água para abastecimento humano</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Não existe uma relação entre o <i>consumo de água para abastecimento humano</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Vulnerabilidade Socioeconômico-ambiental	Consumo de água para consumo humano rural e urbano
3. Existe uma relação entre o <i>consumo de água para a irrigação</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Não existe uma relação entre o <i>consumo de água para a irrigação</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Vulnerabilidade Socioeconômico-ambiental	Consumo de água para a agricultura irrigada
B. Existe uma relação entre o <i>consumo de energia elétrica, consumo de água para abastecimento humano e para a irrigação, a precipitação mensal média, variância da precipitação mensal média</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os diferentes anos de estudo	Não existe uma relação entre o <i>consumo de energia elétrica, consumo de água para abastecimento humano e para a irrigação, a precipitação mensal média, variância da precipitação mensal média</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os diferentes anos de estudo	Vulnerabilidade Socioeconômico-ambiental	Consumo de energia elétrica; Consumo de água para consumo humano; Consumo de água para a agricultura irrigada; Precipitação mensal média; Variância da precipitação mensal média
1. Existe uma relação entre a <i>precipitação mensal média</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Não existe uma relação entre a <i>precipitação mensal média</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Vulnerabilidade Socioeconômico-ambiental	Precipitação mensal média por ano
2. Existe uma relação entre a <i>variância da precipitação mensal média</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Não existe uma relação entre a <i>variância da precipitação mensal média</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Vulnerabilidade Socioeconômico-ambiental	Variância da precipitação mensal média

Fonte: elaborado pela autora.

Além do tratamento dos dados e das análises de RLM, oito premissas foram verificadas para garantir que a análise de regressão linear múltipla pudesse ser aplicada para as variáveis de estudo. As premissas verificam e informam sobre a precisão das previsões, do modelo e dos coeficientes calculados e visam testar quão bem o modelo de regressão linear representa os dados observados. Quando não atendidas, fazem-se necessários ajustes para que o modelo possa ser utilizado (LAERD STATISTICS, 2015). Em último caso, um outro modelo estatístico de análise dos dados deve ser aplicado. De modo a conferir validade ao estudo, o modelo foi verificado conforme as premissas na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Premissas para o uso de análise de regressão linear múltipla

Análises anteriores à regressão	a.	A variável dependente (iVSEA) deve ser contínua;
	b.	As variáveis independentes devem ser de natureza contínua ou categórica;
	c.	Independência de observações (i.e., independência dos resíduos / erros) – variáveis independentes devem ser comprovadamente independentes;
	d.	Uma relação linear (ou a clara ausência de relações não-lineares) deve existir entre as variáveis independentes e a variável dependente, individual e coletivamente, de forma que preditores não sejam redundantes e tenham a mesma contribuição para o modelo
Análises posteriores à regressão	e.	Homoscedasticidade – variações ao longo da linha de regressão linear de melhor ajuste devem permanecer semelhantes por toda a linha;
	f.	Dados não devem apresentar multicolinearidade (ou colinearidade múltipla)
	g.	Modelo não deve conter dados discrepantes significativos (<i>outliers</i> , <i>leverage</i> e <i>influentials</i>)
	h.	Normalidade: Resíduos (erros) da linha de regressão de melhor ajuste devem seguir distribuição normal.

Fonte: elaborado pela autora com base em Laerd Statistics (2015).

Dependendo da etapa da análise, foram utilizados o Jupyter, Excel e Stata de acordo com a facilidade de obtenção e formato de apresentação dos dados. Os principais resultados foram também verificados em mais de uma ferramenta para garantir consistência e confiabilidade.

A análise e discussão dos resultados são apresentados no capítulo quatro a seguir.

CAPÍTULO QUATRO

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DAS PERGUNTAS, OBJETIVOS E HIPÓTESES DE PESQUISA

Neste capítulo, os resultados das análises descritas nos procedimentos metodológicos são apresentados e discutidos. São apresentadas as análises dos resultados à luz das perguntas e hipóteses de pesquisa. Os resultados da regressão linear múltipla foram discutidos em termos do que representam para a vulnerabilidade da população do submédio Rio São Francisco.

4.1 PERGUNTA DE PESQUISA A

Que estrutura de indicadores poderá definir a vulnerabilidade destas populações com legitimidade e representatividade, considerando as percepções de atores locais?

Para responder a esta pergunta e buscar um método para avaliar a vulnerabilidade no SMSF, uma revisão da literatura sobre a vulnerabilidade e o contexto da região, associada às amplas discussões do grupo de pesquisa do PI SSA, baseou a criação de uma estrutura de indicadores de vulnerabilidade socioeconômica e ambiental. Para trazer legitimidade e representatividade à estrutura, as percepções dos atores locais coletadas em entrevistas semiestruturadas nas visitas a campo realizadas pelo grupo de pesquisa em outubro de 2018 foram avaliadas. O modelo de análise qualitativa discutido a seguir sugere que as categorias de vulnerabilidade apontadas pelas lideranças locais concordam com a estrutura proposta, bem como aportaram especificidades e um melhor entendimento de como a vulnerabilidade ocorre no contexto do SMSF.

4.1.1 Modelo de análise: identificação de indicadores de demanda e indicadores de vulnerabilidade

Este estudo buscou avaliar quantitativamente a relação das demandas conflitantes e concorrentes do *nexus* água-energia-alimento com a vulnerabilidade no SMSF. Para isso, lançou mão de indicadores para investigar a existência de relações estatisticamente significativas. Análises quantitativas de indicadores são tradicionalmente abordagens de cima para baixo, reducionistas e de certo modo impositivas da realidade. Buscou-se compensar essa fragilidade do método trazendo a contribuição qualitativa de atores locais para que a estrutura de indicadores fosse legitimada e

representativa do contexto das comunidades que são, em último caso, o objeto e o objetivo deste estudo.

Uma ampla pesquisa levantou a disponibilidade de indicadores em nível municipal, em séries históricas relevantes para o período de estudo. Os dois lados da equação a ser testada foram levantados: indicadores de demanda hídrica e energética, que entraram como variáveis independentes, e indicadores de vulnerabilidade, que formariam o índice a ser utilizado como variável de saída. Em seguida, as entrevistas semiestruturadas realizadas nas atividades de campo em outubro de 2018 foram analisadas utilizando os indicadores como temas e estrutura para os nós. Eventualmente, os nós foram modificados ou novos nós foram criados conforme as informações fossem levantadas pelas lideranças comunitárias.

A Figura 4.1 detalha a estrutura de nós utilizada para a codificação das entrevistas. A área dos polígonos são proporcionais à frequência com que o tema de cada nó foi abordado, ou o número de entrevistas que discutiram o tema em questão. Não se trata de método quantitativo para priorizar os temas, mas essa hierarquia permite estimar a força com que cada dimensão da vulnerabilidade se apresenta. Além dos dois eixos principais observados (uso e manejo dos recursos hídricos, e vulnerabilidade ambiental e socioeconômica), outros temas foram incluídos, tanto como nós separados como quanto nós “filhos” (dentro dos eixos).

Os nós à esquerda da figura refletem a estrutura proposta, discutida em mais detalhes a seguir. Os nós à direita se referem a temas e dimensões da vulnerabilidade e da adaptação frequentemente discutidos nas entrevistas, que foram também considerados para inclusão entre os indicadores. Estes são brevemente discutidos ao final desta seção.

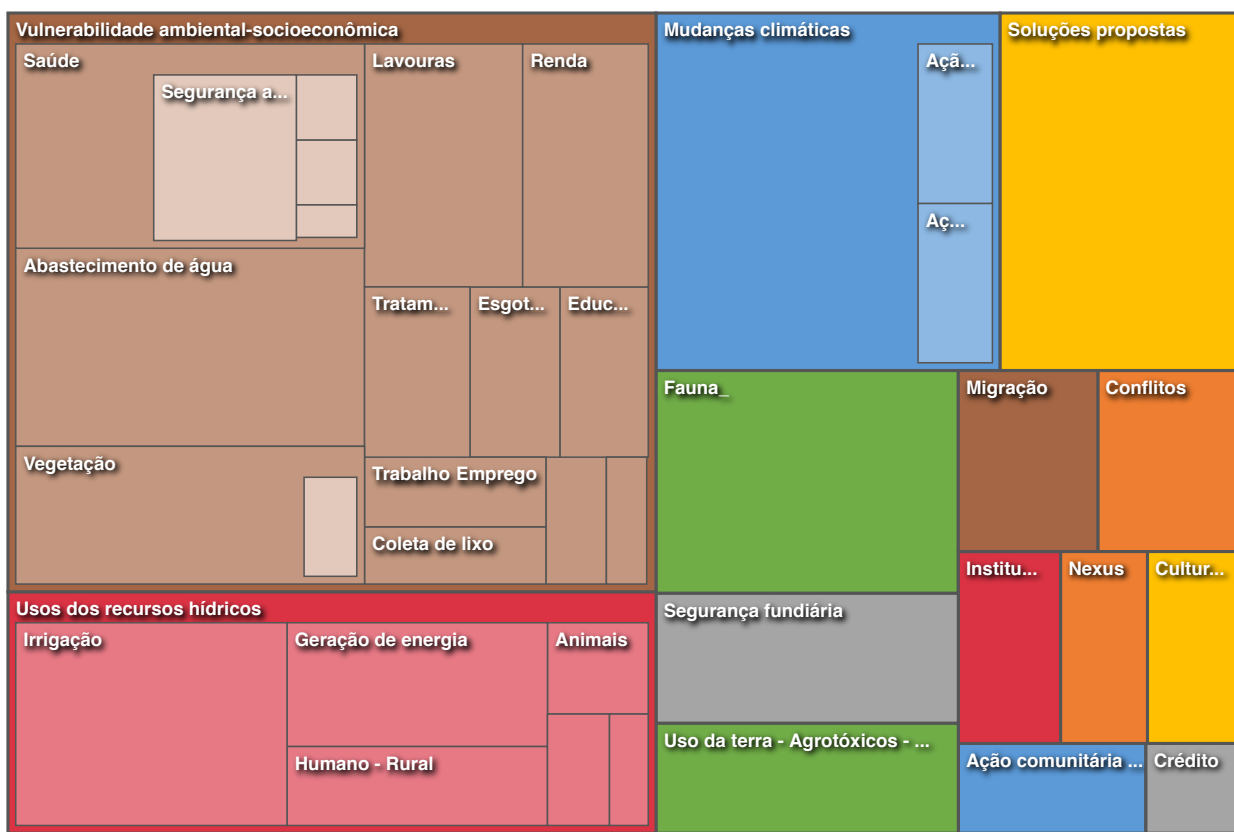


Figura 4.1 - Estrutura de nós conforme o número de referências codificadas nas entrevistas
 Fonte: elaborado pela autora no NVivo 12.

4.1.2 Indicadores de demanda, uso e manejo de recursos hídricos – variáveis independentes do modelo de regressão linear

Foram escolhidos indicadores de demanda que pudessem ser utilizados como representantes das dimensões WEF *nexus*. Os usos consuntivos e não consuntivos da água foram priorizados, uma vez que o nexu tem justamente como dimensão central o uso dos recursos hídricos: consumo para abastecimento humano urbano, consumo para abastecimento humano rural, consumo para criação e dessedentação de animais, consumo para a mineração, consumo para agricultura irrigada e consumo para a indústria de transformação, além do uso para geração de energia. As entrevistas foram codificadas de modo que os diferentes usos e demandas dos recursos hídricos fossem identificados.

A frequência com que as demandas foram mencionadas confirmam as expectativas e a lógica por trás da abordagem WEF *nexus*. A irrigação foi a maior demanda comentada nas entrevistas, seguida pela geração de energia (muitas vezes para a própria irrigação), o consumo para abastecimento humano rural e para a criação de animais. As demandas hídricas para mineração e

consumo urbano aparecem com menor frequência. É conhecido o fato de que o abastecimento de água nas regiões urbanas e industriais é mais abrangente e regular que na zona rural. A menor frequência com que foram citados é um possível indicativo de que estes abastecimentos sejam mais robustos, mas também por consequência da amostragem que priorizou as comunidades rurais. Não houve menções ao consumo de água pela indústria de transformação, o que era esperado devido ao fato de que não estiveram envolvidos atores do setor dentre os entrevistados. A Figura 4.2 mostra a frequência com que as demandas por recursos hídricos foram mencionadas nas entrevistas. A área do polígono é proporcional ao número de entrevistas que discutiram a vulnerabilidade da dimensão em questão.

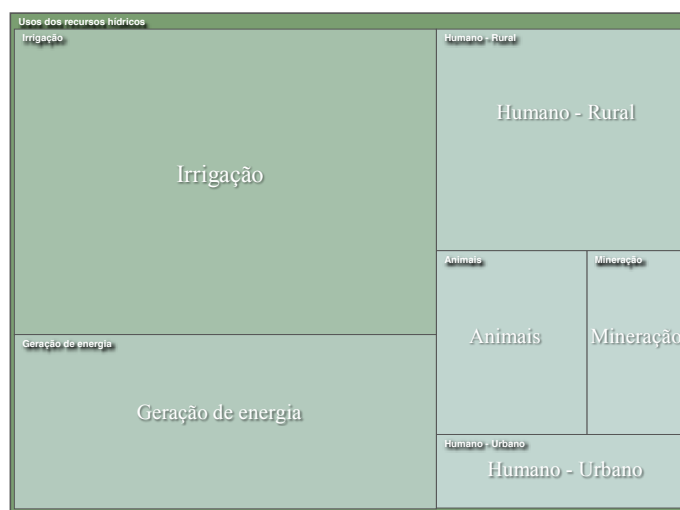


Figura 4.2 - Comparação de nós dos usos dos recursos hídricos conforme número de referências codificadas
 Fonte: elaborado pela autora no software NVivo 12, a partir da codificação das entrevistas realizadas pelo PI SSA

Assim, a configuração inicial para o modelo de regressão linear considerou os múltiplos usos de recursos hídricos na bacia, com respaldo dos atores locais sobre o entendimento dos conflitos a respeito da disponibilidade hídrica, do uso e manejo dos recursos. Dados normalizados de consumo de água para irrigação, abastecimento humano rural e urbano, criação e dessedentação de animais, mineração e abastecimento da indústria de transformação, além do consumo de energia elétrica, foram inseridos como variáveis independentes no modelo preditivo. Entretanto, como discutido com detalhes adiante, para que o modelo de regressão linear múltipla pudesse ser utilizado, as variáveis deveriam atender a premissas que garantissem a qualidade de resultados estatisticamente significativos. A verificação destas variáveis de entrada indicou, no entanto, a existência de colinearidade múltipla. A alta correlação entre as variáveis do modelo sugeriu a existência de redundância em sua capacidade preditiva – ou seja, o modelo era incapaz de distinguir que variáveis

independentes seriam capazes de explicar mudanças na variável dependente, além de inflar o coeficiente de determinação (R^2). Deste modo, após múltiplas iterações para verificação da utilidade das variáveis, combinação e transformações, foram mantidas as variáveis mínimas essenciais ao modelo capazes de explicar a vulnerabilidade: consumo para a irrigação, consumo para abastecimento humano e consumo de energia elétrica. Esta constatação é bastante concordante com a utilização da abordagem *nexus* como determinante dos sistemas humanos e naturais, já que as variáveis são diretamente relacionadas com as seguranças hídrica, alimentar e energética.

O

Quadro 4.1 inclui trechos das entrevistas que validam a escolha das variáveis de entrada relevantes ao modelo. As entrevistas ressaltam os conflitos sobre os múltiplos usos bem como a percepção dos atores em relação aos conflitos e escolhas em relação aos recursos hídricos.

A falta de chuva aparece como tema central nas narrativas, assim como a má distribuição, as enchentes e a importância do programa Um Milhão de Cisternas para o consumo local.

Quadro 4.1 - Validação das variáveis de entrada do modelo de regressão

Indicador	Exemplos de referências que corroboram as categorias de indicadores
Consumo de água para abastecimento humano rural e urbano	<p><i>“A família tem uma cisterna para que mesmo em um momento de aperto de dificuldade (...) ela tem onde colocar água quando chega o caminhão pipa (...) no pé da casa. Isso é uma vantagem gigantesca principalmente para as mulheres. Porque a tarefa de buscar água era das mulheres.”</i></p> <p><i>“Em uma das famílias que eu fui estudar(...) os caminhões pipas vinham e colocavam a água no chão. No barreiro. E os animais bebiam, e eles também tinham que beber, usar aquela água para lavar roupa. para tudo. (...) A água evaporava a maior parte, outra parte infiltra. Infiltra, animal bebe. E o risco de contaminação era muito alto”</i></p> <p>AS e JG, agricultores e sociedade civil organizada</p> <p><i>“A água, por exemplo: se a gente for pegar aqui a aldeia, a aldeia já mudou o local de captação, eu acho que uma ou duas vezes devido a esse recuo da água, a bomba que é da cidade eu não sei informar(...) Porque o pessoal tá acreditando que se perfurar poços vai sanar o problema delas, (...) e elas tão esquecendo que essa água é a água do São Francisco, porque aqui não chove, como é que tem água embaixo do solo, aqui não chove.”</i></p> <p>EV, indígena</p> <p><i>“Ao longo dos últimos 10 anos elas vem sendo, as chuvas, cada vez mais escassas (...) a gente tem uma dificuldade grande, porque 80% do nosso município não tem água encanada (...) o abastecimento lá é feito totalmente através de carro pipa, nós não temos aqui uma grande barragem que possa fazer um armazenamento de água quando chove, porque assim, a chuva é difícil (...) a gente sobrevive aqui basicamente do rio São Francisco”.</i></p> <p>AR, gestor público</p>
Consumo de água para a agricultura irrigada	<p><i>“Mais de cinquenta que foram contemplados com o sistema de irrigação, tem seu tanque e seu bombeamento próprio (...) A seca não atingiu... problemas só se for com pragas, com outras coisas, com a água continua a mesma coisa.”</i></p> <p>JM, agricultor</p> <p><i>“A agricultura é o carro-chefe de Petrolina. Agricultura irrigada aqui na região que não tem água né. O pessoal tá com medo aí de acabar a água. Se acabar água, acaba a cidade.”</i></p> <p>BD, morador de Petrolina</p>
Consumo de energia elétrica para uso residencial	<p><i>“É a mesma coisa da questão da energia, a gente sabe que nós estamos no momento de racionamento, mas parece que as pessoas entendem que o racionamento é só de água, não entende que precisa diminuir o consumo de energia. (...) além da gente que consome essa água a maior pessoa preocupada deveria ser eles [a concessionária] porque eles sabem que sem água eles não vão gerar energia.”</i></p> <p>EV, indígena</p>
Precipitação acumulada mensal média	<p><i>“A falta de chuva nas cabeceiras, as nascentes muitas também já... morreram, né? Então tudo isso aí tem causado, com... o que, os nossos rios estejam do jeito que está hoje, com pouco volume, volume baixo né de água né.”</i></p> <p>PT, pescador</p>
Variância da precipitação mensal média	<p><i>“A seca da região é uma seca sistemática, ela tá muito envolvida com os fatores climáticos né. (...) Em dois mil e três o rio São Francisco também passou por uma fase de restrição de água muito grande (...) aí, em dois mil e quatro teve uma chuva muito grande, que até Sobradinho chegou a verter água, quer dizer, passou da conta né.”</i></p> <p>BD, morador de Petrolina</p> <p><i>“De 2011 até 2016 foi sempre chuva abaixo da média. Agora janeiro de 2016(...) foi chuva acima da média, pra o mês, mas se você dividir essa chuva de janeiro que foi só em janeiro, pra os doze mês (sic) do ano, ela se tornou abaixo da média (...) Janeiro choveu 300 e alguns milímetros e o resto do ano não choveu nada.</i></p> <p>Autor não identificado, entrevista coletiva com a Comunidade de Fundo de Pasto</p>

Fonte: elaborado pela autora.

4.1.3 Indicadores de vulnerabilidade – variável dependente do modelo de regressão linear

De maneira similar, uma estrutura inicial de indicadores de sensibilidade e capacidade adaptativa foi proposta a partir do levantamento de disponibilidade, acessibilidade, qualidade e utilidade de dados em nível municipal. Esta estrutura partiu dos levantamentos iniciais propostos pela Rede CLIMA em 2017 (PI SSA, 2017a). Dentre os indicadores propostos, foram selecionados aqueles que retratassem as condições pré e pós-impactos da seca em relação às oito dimensões da vulnerabilidade consideradas na elaboração dos indicadores (água, esgoto / saneamento, vegetação e uso do solo, infraestrutura, renda/trabalho, educação e saúde). A estrutura foi utilizada como guia na codificação das entrevistas. Os temas de cada indicador foram utilizados como nós e sempre que vulnerabilidades nos distintos aspectos foram mencionadas, a entrevista foi incluída como referência ao respectivo nó.

Outros aspectos importantes da vulnerabilidade foram apontados pelos atores durante as entrevistas. Eles foram avaliados para inclusão ou não no modelo, de acordo com a relevância e generalidade do tema para todos os municípios do SMSF e a disponibilidade de dados em séries históricas e em nível municipal.

A estrutura de indicadores proposta para a avaliação da vulnerabilidade socioeconômico-ambiental foi a base para a criação dos nós na codificação das entrevistas. As oito dimensões da vulnerabilidade foram incluídas. A

Figura 4.3 apresenta a frequência com que essas dimensões foram mencionadas nas entrevistas, proporcional à área de cada polígono.

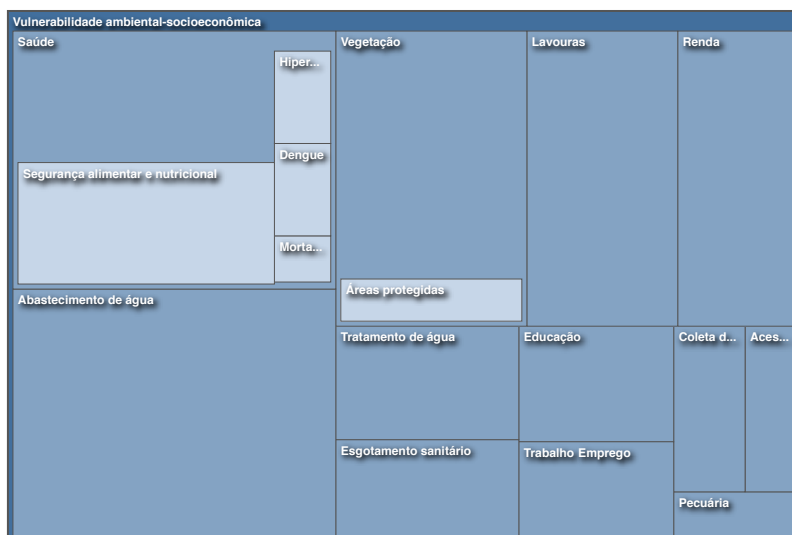


Figura 4.3 - Comparação de nós da vulnerabilidade conforme número de referências codificadas

Fonte: elaborado pela autora

O Quadro 4.2 inclui trechos das entrevistas que validam a escolha dos nós e ao mesmo tempo se relacionam com os indicadores e dimensões da vulnerabilidade relevantes ao modelo¹².

Quadro 4.2 - Validação das dimensões do índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental

Dimensão	Exemplos de referências que corroboram as categorias de indicadores
<p>Água:</p> <p>Acesso e forma de abastecimento de água</p> <p>Qualidade do tratamento de água para consumo</p>	<p><i>“Falta de água, a gente tá esperando por água que vinha, mandada do prefeito, mandado os pipa. Eram cento e trinta e agora tão com trinta. Aí vem e coloca uns pipa pra dividir pra quatro, cinco famílias.”</i></p> <p><i>“Semana passada, o dia todinho com vinte litros d’água. Tem cabimento? Essa água não é pra tomar um banho, pra lavar uma louça.”</i></p> <p>Autores não identificados, entrevista coletiva com Comunidades de Fundo de Pasto</p> <p><i>“Na nossa cidade a gente não paga água né, e aí não tem uma empresa que possa tratar melhor essa água, então a água é captada através de um, um abastecimento aí não muito legal (...) e devido estar baixando muito o nível do rio isso está dificultando né, (...), lava a caixa de água e às vezes com 15 dias já está cheio de lama novamente, a gente sente aquele mau cheiro na água né; e assim a nossa cidade também infelizmente ela não tem um tratamento de água adequado pra nossa comunidade.”</i></p> <p>EA, indígena</p>
<p>Esgotamento sanitário</p>	<p><i>“Se os políticos daqui(...) não colocarem isso como incluindo uma lei (...), nós teremos a continuidade da dificuldade da qualidade de vida da população, principalmente relacionada a saúde, por que nós continuaremos com esgoto a céu aberto, lixo sem nenhum controle. O fluxo de água e esgoto em natura para o rio e conseqüentemente fechando um ciclo vicioso”</i></p> <p>JL, membro do Comitê de Bacia</p> <p><i>“Pesquisador: Aqui ainda não têm banheiro né? Isso é uma coisa que faz muita falta? Entrevistado A: Faz, fazer faz. Entrevistado B: Às vezes têm que segurar por conta do menino, ele trabalha na roça, eu fico em casa, aí as vezes têm que segurar até a hora que chega ou o menino dorme, aí têm que ir correndo para o mato e é longe.”</i></p> <p>FN, assentado</p>
<p>Tratamento de lixo</p>	<p><i>“E a gente né, tamo correndo atrás do nosso direito, que é o que você tá vendo aí, a gente faz um trabalho pra eles de graça, e eles tão exigindo deveres da gente né, a gente cumpre o nosso dever, agora eles não tão cumprindo o deles. Eles exigem que a gente teja todos os dias é... na rua, né recolhendo o material reciclável, sem condição nenhuma.”</i></p> <p>RS, catador de materiais recicláveis</p> <p><i>“...é pegar e ajeitar essas margens, que tem muito lugar aí que tá muito degradado. Salvar e pedir à população ter consciência de num jogar mais sacola de lixo, olhar por esse rio, que rio é vida.”</i></p> <p>L, pescador</p>

¹² As falas foram reproduzidas conforme transcrição, sem correções ortográficas e gramaticais.

Quadro 4.2 - Validação das dimensões do índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental (cont)

Dimensão	Exemplos de referências que corroboram as categorias de indicadores
Cobertura do solo e vegetação	<p>“...é, pescar mais, poder a gente reflorestar mais por que as beiradas de rio a gente tá vendo que está ficando muito desmatadas e a gente pretende cuidar mais da terra né e do rio né?” WS, indígena</p> <p>“Teve muita questão de desmatamento porque pessoas ganharam lotes irrigados, mas fizeram a, como é que diz, cresceram a área né, eles foram crescendo e aí veio o desmatamento e com isso também prejudicou a questão dos animais né?” EA indígena</p> <p>Isso é o que vê aí, as pessoas colocando fogo na caatinga, queimando as plantas nativas, mas vai ser, é difícil, tá sendo difícil pra gente conscientizar as pessoas que não pode fazer isso(...)</p> <p>A caatinga era bem, parecia uma mata sabe, tão verde, tantas árvores, os bichinhos, os animais a gente não vê muito. Têm muitos animais nativos em extinção já.” RS, Fundo de Pasto</p>
Educação	<p>“A pesquisa aqui na região ainda é precária né, São Paulo, o Sudeste, Brasília né, tem os polos mais fortes. Na região do nordeste ainda sobressai Recife, algumas universidades que foram as pioneiras(...) Ai a Univasf agora, como chegou agora tem acho que uns dez anos (...) tá implementando a pesquisa na região. BD, morador de Petrolina</p> <p>“Eu fui alfabetizado em setenta e três naquele (...), MOBRAL que chamava(...)Mas acadêmico mesmo não tenho nada que lhe prove, nada que comprove, nenhuma matrícula em lugar nenhum.”</p> <p>Autor não identificado, entrevista coletiva com as Comunidades de Fundo de Pasto</p> <p>“O que faz é que o jovem tem que estudar, e incentivar ele a explorar a fonte de renda que o município oferece, e muitos não geram mais renda porque não tem conhecimento nessa área, porque a nossa cidade é muito rica em artesanato, fruticultura e outros. Não exploram tudo por falta de conhecimento. É o que eu digo e repito de novo, falta de políticas públicas.” DU, quilombola</p>
Infraestrutura	<p>“E a gente conseguiu agora três sistemas de implantação que é transformar o poço de água salgada em água doce, e aí a gente conseguiu aprovar três projetos em meio a dezessete projetos.; Por quê a gente não conseguiu os dezessete? Porque um dos pré-requisitos para conseguir esse projeto é ter energia e a gente tem essa dificuldade também de energia.” OA, gestor público</p> <p>“As taxas de uso, se você está usando mais flutuantes hoje, vai gastar mais energia, mais combustível para você puxar mais água para irrigar. E a compra destes flutuantes é muito alto o valor deles. Ou está-se investindo muito para continuar a produção, o irrigado deles. Então isso tem acarretado em um custo maior, na produção da fruticultura do Vale” AS e JG, agricultores e sociedade civil organizada</p>

Quadro 4.2 - Validação das dimensões do índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental (cont)

Dimensão	Exemplos de referências que corroboram as categorias de indicadores
Renda e trabalho	<p><i>“[N]a ilha da viúva né, plantava feijão né, o próprio alimento. Já aqui a gente não tem isso. Mesmo com a terra, o espaço é muito pouco que a gente tem de terreno, então planta mais a questão do coco né, porque o coco é um, como é que chama, da monocultura, dá mais renda.”</i> EA, indígena</p> <p><i>Entrevistado A: “A gente planta. De 2011 até agora, eu nunca tirei mais nada, só, em 2011 eu tirei legume, nunca mais nada (...)A renda vem de, dos animais.”</i> Entrevistado B: “Principalmente dos caprinos.”</p> <p><i>Entrevistado A: “Caprino, porco, você tinha galinha, eu não tenho. A bolsa família também que é que tá sustentando a família”</i></p> <p>Autores não identificados, entrevista coletiva com Comunidade de Fundo de Pasto <i>“[sobre o lago de Sobradinho atingir o volume morto] olha, seria algo até um pouco complicado até de imaginar (...) as duas cidades têm mais de meio milhão de habitantes juntas, e que você teria cerca de 30 por cento destas pessoas ligadas diretamente a agricultura irrigada (...) e tem ligações indiretas. Gera uma dependência, restaurantes, hotéis (...) as lojas, e aí vão sobreviver de que? Muita gente que compra nas lojas está na agricultura irrigada, ou está empregada pela agricultura”</i> AS e JG, agricultores e sociedade civil organizada</p> <p><i>“[A produção piorou] Muito. A gente está com uns pés de manga e de caju morrendo assim, sem a gente sem entender o que é.(...) na serra tinha nascente, têm bem umas quatro que já acabou-se, tá desaparecendo (...) Único ano que choveu bem foi esse ano, porque a gente tava com mais de seis anos aqui que a chuva tava quase.”</i> GV, indígena</p> <p><i>“É interessante que tem a cinquenta quilômetros da barragem do lago de Sobradinho (...) pessoas que não têm acesso nenhum a essa água do lago nem do rio(...) nem para sedentar animais (...)Para cultivo, de forma alguma (...) é realmente um pouco contraditório(...) área irrigada em determinado setor e a vinte, trinta quilômetros tem área de sequeira, é uma situação extrema de seca.”</i> IS, pesquisador</p> <p><i>“Às vezes se adoecesse um da família ou que não fosse da família, nós não ia pra FUNAI pedir ajuda não, nós tinha o porco gordo pra vender, nós tinha o bode gordo pra vender, nós tinha o carneiro gordo pra vender, nós tinha o boi pra vender(...)mas a CHESF acabou com tudo. Quando eu saí de lá pra aqui, pra onde nós tamos, eu trouxe 28 cabeças de ovelha(...)e 25 de bode, 14 cabeça de cabra, 4 vacas boa de leite, isso tudo foi destruído, perdi tudo.”</i> A., indígena</p>
Saúde	<p><i>“Na minha visão essa cisterna salvou. O único problema aqui para nós é que se não tiver cuidado com o manuseio, a chikungunya, dengue, principalmente aqui em Pernambuco, que estourou né, e aí a gente teve. Eu sou agente de endemias e às vezes eu encontro, nas cisternas(...) é complicado porque é muita água e a gente não tem o larvicida (...) pela vivência, pelo o que a gente come, pelo o que a gente compra, se alimentar mudou demais, está aparecendo todo tipo de doença aqui que a gente não tinha demais (...) de coração, essas doenças, diabetes, câncer está começando a avançar muito por aqui.”</i> GV, indígena</p> <p><i>“A gente não tem um estudo certo de que é a água, mas tem muita gente hipertensa né, mas eu acho que é a água”</i></p> <p>Autor não identificado, entrevista coletiva com Comunidade de Fundo de Pasto <i>“É, nós ganha aqui é muito pouco, né, se dá pra comer, olhe, se der pra comer, porque tem uma água, tem uma luz, tem um bujão né? Pra gente comprar, e o dinheiro é muito pouco, estamos querendo o contrato pra ver se, se a gente ganha mais alguma coisinha melhorzinha.”</i> MS, catadora</p>

Fonte: elaborado pela autora.

Como visto no quadro acima, além da validação dos temas, as entrevistas proporcionaram uma visão das interdependências, externalidades positivas e negativas entre as dimensões das seguranças hídrica, alimentar e energética, a saúde e a renda. A dependência entre os distintos setores e a agricultura irrigada, grande provedora de empregos na região, e a necessidade de energia elétrica para o acesso à água são exemplos de conexões que atestam a importância de análises integradas.

Uma vez que os recursos hídricos eram o tema central das entrevistas, o acesso e abastecimento de água foram abordados com frequência como a maior condicionante da vulnerabilidade. As múltiplas dimensões da segurança hídrica foram discutidas: a perenidade do acesso, os custos, a proteção da capacidade produtiva, a relevância para as mulheres, a qualidade e segurança da água para consumo e higiene, bem como a quantidade de água disponível, entre outros aspectos. De fato, as entrevistas confirmam a essencialidade da segurança hídrica para os múltiplos modos de vida. A perda de vegetação, o desmatamento e inundação de áreas vegetadas foram temas constantemente levantados, muitas vezes de maneira relacionada às mudanças na paisagem, à agricultura, à incidência de pragas nas lavouras e a extinção de espécies vegetais e animais. O esgotamento sanitário e coleta de lixo são abordados sobretudo do ponto de vista da fragilidade institucional e ausência de políticas e recursos que possam proporcionar os serviços às comunidades, sobretudo rurais.

A segurança alimentar aparece principalmente em dois eixos: a segurança dos alimentos consumidos, diante do alto uso de agrotóxicos usados para salvar as produções, e a acessibilidade e capacidade dos indivíduos de aquisição de alimentos que garantam a nutrição adequada. Indicadores como valor de cesta básica e taxas de desnutrição foram considerados, mas estão disponíveis apenas em escala estadual. Foram incorporados como *proxies* dados de desnutrição e desidratação entre crianças. Nas dimensões da vulnerabilidade relacionadas à saúde, dados de casos de hipertensão foram adicionados, diante das preocupações com o aumento de casos entre as comunidades e sua relação com qualidade da alimentação e com a salinização da água.

Uma característica comum em distintos relatos foi o histórico entre agricultores e pecuaristas de trocas e adaptações nas plantações e na criação de animais conforme as condições do clima e o acesso a recursos hídricos. Não se tratam, necessariamente, de adaptações positivas que melhorassem a relação com os recursos, mas sim impostas pela falta de conhecimentos técnicos ou pela perda de poder aquisitivo. Esse foi o caso, por exemplo, da troca de bois por animais de menor valor, como cabras e galinhas, ou a mudança da rotação de culturas por monoculturas. Essas trocas podem, a partir de uma visão especialista, representar adaptações positivas, uma vez que caprinos, ovinos e

galináceos possuem maior liquidez e resistência à estiagem. No entanto, a vivência prática dos criadores indicou uma clara insatisfação com a troca, seja relacionada à percepção de empobrecimento ou a questões de poder e prestígio. Os indicadores que avaliavam a produção de lavouras em toneladas e da pecuária em número de cabeças foram então substituídos pelos valores em reais da produção.

Nas transcrições, de maneira geral, percebe-se uma frustração dos atores em relação às perspectivas de futuro e a ação do poder público, mas vê-se que o paradigma da convivência com o semiárido está bastante incorporado ao modo de vida que levam. Ainda que movimentos migratórios sejam frequentes, é comum o retorno dos jovens. As questões de propriedade, território e ordenamento territorial são de suma importância em suas vidas e os entrevistados aparentam mostrar forte inclinação a buscar medidas de adaptação da vida às secas (e não de combate).

As entrevistas trouxeram, ainda, poderosos *insights* sobre medidas adaptativas e soluções baseadas no capital social e nas ações comunitárias. Destacam-se tecnologias caseiras de reuso da água, estratégias de emancipação para facilitar o acesso a recursos federais e viabilizar obras públicas, programas de mudas para revitalização das margens do rio, reflorestamento de nascentes, tecnologias de “fertirrigação” que reduzem o uso de defensivos e projetos de troca de experiências e conhecimento para apoiar a implementação de técnicas mais eficientes. Estruturas de governança coletiva, como assembleias, conselhos familiares e cacicados, trouxeram representatividade e eficiência às decisões coletivas e facilitaram o alcance do consenso e da resolução de conflitos.

Outros temas fortemente relacionados a componentes ambientais da vulnerabilidade foram levantados. Questões relacionadas à fauna e a extinção de espécies, e às dificuldades enfrentadas pelos que dependem da caça e da pesca foram frequentemente abordadas. No entanto, a dificuldade em encontrar séries de dados na escala de trabalho e periodicidade anual impediram que o tema fosse incorporado ao índice. O mesmo ocorreu com a caça e a pesca, que apesar de não representarem temas gerais a todos os municípios do SMSF, são importantes componentes da segurança alimentar e da renda de comunidades vulneráveis. O embate entre práticas de agroecologia, agricultura orgânica e o uso de agrotóxicos foi outro tema de grande importância trazido com constância nas entrevistas. O tema foi abordado frequentemente relacionado às dificuldades de conhecimento técnico dos agricultores e da falta de assistência por parte dos governos, ao desmatamento e migração de pragas e à falta de chuva. Infelizmente, o uso de agrotóxicos e fertilizantes por hectare está disponível apenas em nível estadual e, nessa escala, não contribuiria para o índice e o modelo de regressão.

Dentre os temas de cunho socioeconômico se destacam a (in)segurança fundiária e os conflitos pelo uso da terra e dos recursos hídricos. Dinâmicas migratórias, sobretudo para o êxodo rural, também foram diretamente relacionados à seca e à escassez de recursos hídricos. O retorno ao campo, no entanto, também aparece como uma constante ligada às dificuldades enfrentadas nos grandes centros urbanos pelos indivíduos com baixa instrução e empregabilidade, aos altos custos de vida e aos riscos de violência.

As entrevistas, portanto, mostraram forte sinergia e concordância com a estrutura de indicadores proposta e aportaram importantes contribuições à construção do índice de vulnerabilidade discutido nas próximas seções. A estrutura final utilizada para a criação do índice de vulnerabilidade socioeconômico e ambiental está apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Estrutura final de indicadores da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental

Índice de Vulnerabilidade Socioeconômico-ambiental	
IDEB ^a	Hospitalizações por desidratação em crianças menores de 5 anos
IFDM Educação ^a	Número de crianças menores de um ano desnutridas
IFDM Emprego e renda ^a	Número de hipertensos cadastrados no município ^c
IFDM Saúde ^a	Acesso à água ^a
Acesso à energia ^a	Forma de abastecimento de água
Material e revestimento do domicílio	Qualidade do tratamento de água para consumo ^a
PIB per capita municipal ^a	Volume de tratamento de água do município
Valor da produção de lavouras temporárias e permanentes ^b	Acesso a tratamento de esgoto ^a
Valor da produção pecuária ^b	Tipo de esgotamento sanitário ^a
Mortalidade geral ^a	Volume de tratamento de esgoto do município
Óbitos por diarreia em crianças menores de um ano	Tratamento de lixo ^a
Óbitos infantis	Cobertura do solo ^a
Óbitos maternos	

^a indicadores validados pela análise qualitativa

^b indicadores modificados após a análise qualitativa

^c indicador incluído após a análise qualitativa

Fonte: elaborado pela autora.

Objetivo A: Contribuir para a construção de arcabouço metodológico da pesquisa científica Nexus Água-Energia-Alimento, a partir da análise de dados em escala municipal e de percepções de atores-chave no submédio curso da BHSF;

A metodologia agrega ao arcabouço analítico da abordagem *nexus* água-energia-alimento, endereçando uma lacuna metodológica na literatura e nas práticas de governança *nexus*. A análise em conjunto das demandas para o atendimento às seguranças hídrica, energética e alimentar fornece resultados diferentes daquela em que os setores são avaliados individualmente. O estudo foi

centralizado em variáveis que pudessem servir de *proxies* para as pressões realizadas pelas dimensões hídrica, alimentar e energética sobre os recursos hídricos, tendo como dimensão de interface a segurança socioambiental proposta pela abordagem *nexus*⁺. A contribuição relativa de cada variável de entrada do modelo permitiu a identificação de relações que podem levar a medidas mais eficazes para a mitigação da vulnerabilidade.

4.2 PERGUNTA DE PESQUISA B:

Em que medida os extremos de precipitação característicos da estiagem que atingiu a região no início do século afetaram a relação entre o uso e manejo dos recursos hídricos para as seguranças hídrica, alimentar e energética com vulnerabilidade das populações às mudanças climáticas?

A pergunta de pesquisa B pode ser respondida em duas etapas. Em um primeiro momento, a criação do índice de vulnerabilidade socioeconômico e ambiental (iVSEA) buscou o acompanhar a evolução dos indicadores ao longo do septênio de 2008 a 2014. O recorte temporal trouxe para o modelo as realidades anterior e posterior ao início da estiagem. Num segundo momento, as análises de regressão linear múltipla avaliaram a presença de relações estatisticamente significativas entre os usos dos recursos relacionados às dimensões *nexus* água-energia-alimento e a vulnerabilidade (modelo I), como discutido a seguir, para então avaliar como as variações na precipitação afetam essas relações (modelo II).

A Tabela 4.2. resume os resultados para as hipóteses de pesquisa encontrados no estudo após as análises quantitativas do estudo: a avaliação dos indicadores de vulnerabilidade socioeconômica e ambiental e as análises de regressão linear múltipla.

De modo geral, a pesquisa confirmou a contribuição individual das variáveis de entrada para o modelo de maneira estatisticamente significativa. De maneira individual, todas as variáveis de entrada contribuem para a vulnerabilidade das populações locais (consumo de energia elétrica, consumo de água para abastecimento humano, consumo de água para irrigação, precipitação acumulada mensal média e variância da precipitação acumulada mensal média). A análise conjunta, no entanto, revelou que algumas das variáveis não tem representatividade no contexto da SMSF. Essa constatação traz relevância à abordagem *nexus*, que advoga pela importância da análise integrada dos fatores que determinam um sistema, e que prevê que as contribuições positivas e negativas não devem ser vistas dentro dos silos de cada setor.

A discussão destes resultados se aprofunda nas análises a seguir.

Tabela 4.2 - Avaliação das hipóteses de pesquisa

Hipótese alternativa	Hipótese nula	Resultados e Observações
A. Existe uma relação entre o <i>consumo de energia elétrica, consumo de água para abastecimento humano e para a irrigação</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Não existe uma relação entre o <i>consumo de energia elétrica, consumo de água para abastecimento humano e para a irrigação</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	A análise do modelo de regressão linear I rejeita a hipótese nula A uma vez que foram encontradas relações estatisticamente significativas entre os preditores e a vulnerabilidade. Variações no consumo de energia elétrica e no consumo de água para irrigação foram capazes de explicar, de forma conjunta, cerca de 47% das variações na vulnerabilidade. Já o consumo de água para consumo humano não apresentou contribuição significativa para o modelo quando analisado em conjunto com as demais variáveis.
1. Existe uma relação entre o <i>consumo de energia elétrica</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Não existe uma relação entre o <i>consumo de energia elétrica</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	A análise do modelo de regressão linear I e II rejeitam a hipótese nula A.1 uma vez que o consumo de energia elétrica apresentou relação estatisticamente significativa com a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental.
2. Existe uma relação entre o <i>consumo de água para abastecimento humano</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Não existe uma relação entre o <i>consumo de água para abastecimento humano</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	As análises dos modelos I e II de regressão linear falham em rejeitar a hipótese nula A.2 , uma vez que a relação entre o consumo de água para abastecimento humano não apresentou contribuições <i>lineares</i> estatisticamente significativas para a determinação da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental. As implicações e discussão deste resultado foram discutidas na análise do modelo I. No entanto, quando avaliado isoladamente, o consumo de água apresenta fraca correlação positiva significativa com a vulnerabilidade (-0,29) e coeficiente de determinação estatisticamente significativo de 0,084 para o intervalo de confiança de 95%.
3. Existe uma relação entre o <i>consumo de água para a irrigação</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	Não existe uma relação entre o <i>consumo de água para a irrigação</i> e a <i>vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo	As análises dos modelos de regressão linear I e II rejeitam a hipótese nula A.3 , uma vez que o consumo de água para a agricultura irrigada apresentou relação estatisticamente significativa com a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental.

Tabela 4.2 - Avaliação das hipóteses de pesquisa (cont.)

Hipótese alternativa	Hipótese nula	Resultados e Observações
<p>B. Existe uma relação entre o <i>consumo de energia elétrica, consumo de água para abastecimento humano e para a irrigação, a precipitação mensal média, variância da precipitação mensal média e a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os diferentes anos de estudo</p>	<p>Não existe uma relação entre o <i>consumo de energia elétrica, consumo de água para abastecimento humano e para a irrigação, a precipitação mensal média, variância da precipitação mensal média e a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os diferentes anos de estudo</p>	<p>A análise do modelo de regressão linear I rejeita a hipótese nula B, uma vez que foram encontradas relações estatisticamente significativas entre os preditores e a vulnerabilidade. Variações no consumo de energia elétrica, no consumo de água para irrigação e na variância da precipitação acumulada mensal média foram capazes de explicar, de forma conjunta, cerca de 49,6% das variações na vulnerabilidade. Já o consumo de água para consumo humano e a precipitação acumulada mensal média não apresentaram contribuição significativa para o modelo quando analisados em conjunto com as demais variáveis.</p>
<p>1. Existe uma relação entre a <i>precipitação mensal média e a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo</p>	<p>Não existe uma relação entre a <i>precipitação mensal média e a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo</p>	<p>A análise do modelo de regressão linear II falha em rejeitar a hipótese nula B.1, uma vez que a relação entre a precipitação acumulada mensal média não apresentou contribuições <i>lineares</i> estatisticamente significativas para a determinação da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental. As implicações e discussão deste resultado foram discutidas na análise do modelo II. No entanto, quando avaliado isoladamente, a precipitação acumulada mensal média fraca correlação positiva significativa com a vulnerabilidade (-0,10) e coeficiente de determinação estatisticamente significativo de 0,009 para o intervalo de confiança de 95%.</p>
<p>2. Existe uma relação entre a <i>variância da precipitação mensal média e a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo</p>	<p>Não existe uma relação entre a <i>variância da precipitação mensal média e a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental</i> no SMSF para os anos de estudo</p>	<p>A análise do modelo de regressão linear II rejeita a hipótese nula B.2, uma vez que a variância da precipitação acumulada mensal média apresentou relação estatisticamente significativa com a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental.</p>

Fonte: elaborada pela autora

4.2.1 Índice de Vulnerabilidade Socioeconômico-ambiental (iVSEA)

Uma vez validada a estrutura de análise da vulnerabilidade, os dados foram tratados e indicadores normalizados conforme detalhado no capítulo três. O índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental foi calculado conforme a equação abaixo, com o propósito de servir de variável de resposta para o modelo de regressão linear múltipla.

$$iVSEA = \text{média} (n_{\text{acesso_agua}}; n_{\text{acesso_esgoto}}; n_{\text{forma_abast}}; n_{\text{lixo}}; n_{\text{saneamento}}; n_{\text{qual_agua}}; n_{\text{agua_eta}}; n_{\text{esgoto_tratado}}; n_{\text{vegetacao}}; n_{\text{habitacao}}; n_{\text{ideb}}; n_{\text{ifdm_e}}; n_{\text{ifdm_er}}; n_{\text{ifdm_s}}; n_{\text{energia}}; n_{\text{pib_capita}}; n_{\text{mortalidade_geral}}; n_{\text{obitos_inf}}; n_{\text{obitos_mat}}; n_{\text{obitos_diarreia}}; n_{\text{desidracao}}; n_{\text{desnutricao}}; n_{\text{lavouras}}; n_{\text{pecuaria}}; n_{\text{hipertensao}})$$

Como discutido anteriormente, não se propôs neste estudo a elaboração de um índice para fins de comparação, replicabilidade e acompanhamento, mas sim com o objetivo de reunir as variáveis para o modelo de regressão. No entanto, cuidou-se no tratamento e normalização dos dados para que os valores finais tivessem sentido lógico. Os valores calculados para cada par município/ano do iVSEA variam entre zero e um, sendo que quanto mais próximo de zero (0,0), menor a vulnerabilidade e conseqüentemente quanto mais próximo de um (1,0), mais vulneráveis são os municípios. As Figura 4.4 e Figura 4.5¹³ foram incluídas a seguir para fins descritivos e para auxiliar a discussão dos resultados à luz das perguntas de pesquisa

¹³ O mapa com a identificação dos municípios foi repetido para facilitar a visualização das análises.

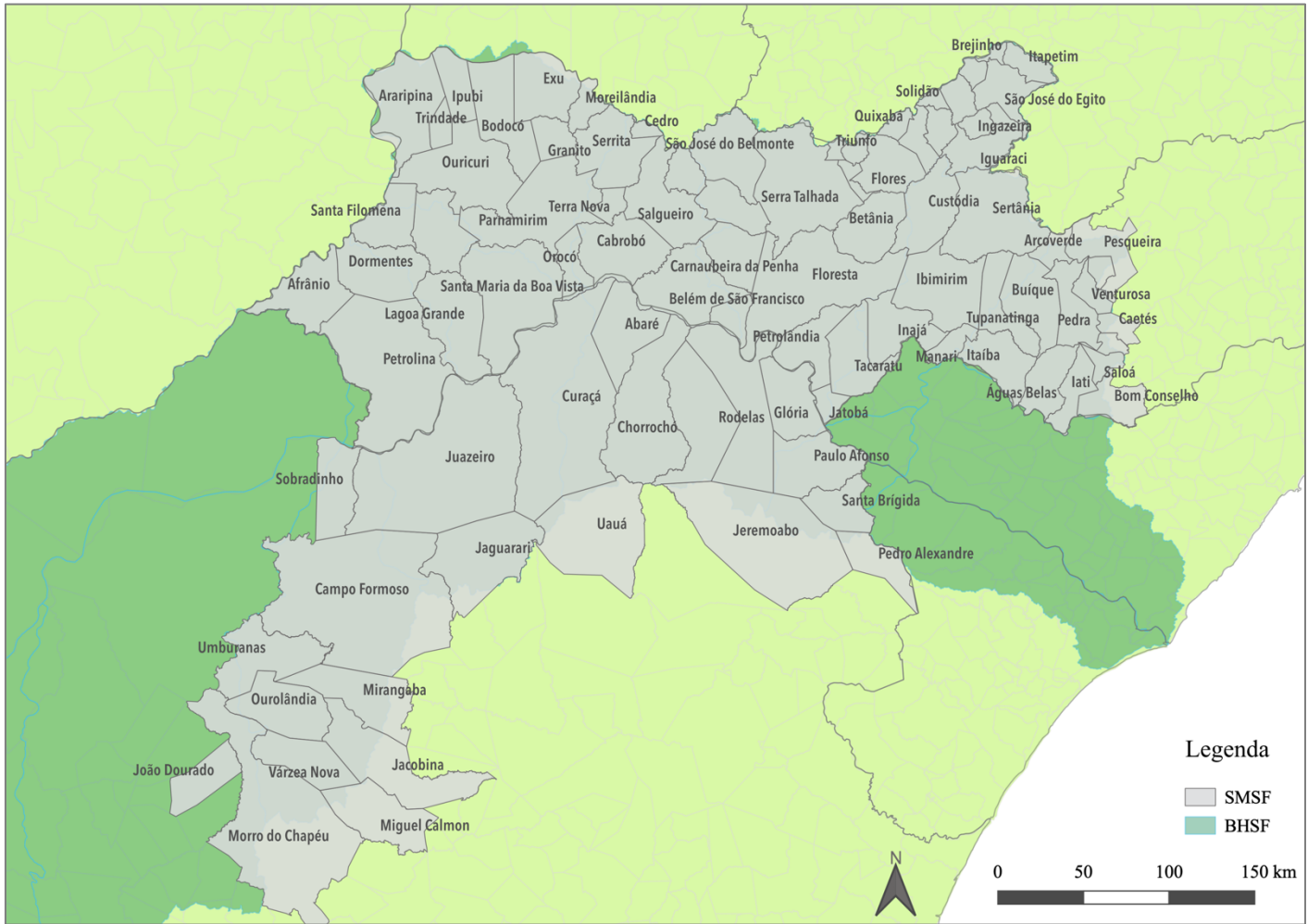


Figura 4.4 - Identificação dos municípios no SMSF

Fonte: elaborado pela autora.

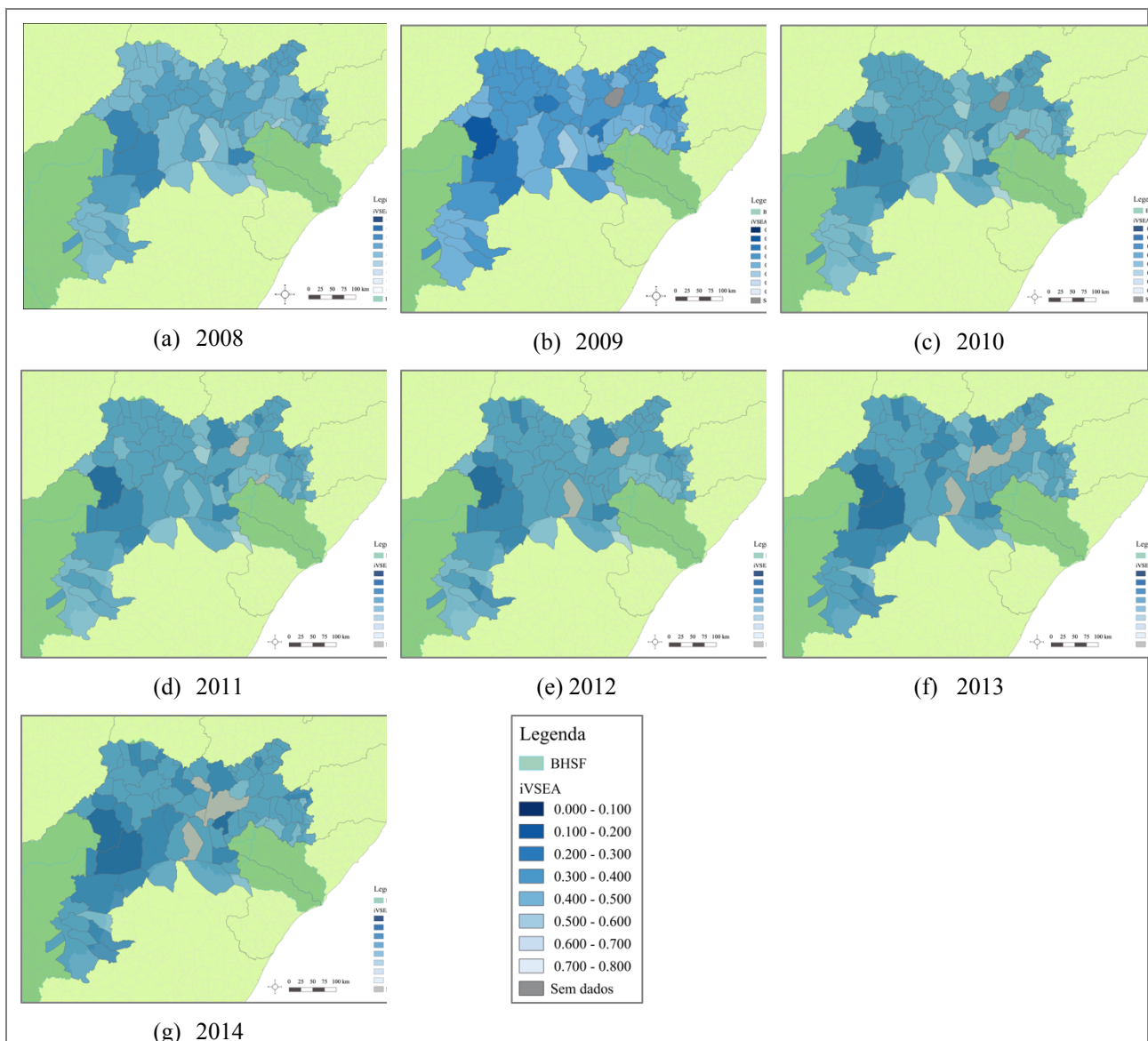


Figura 4.5 - Evolução do índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental no SMSF 2008 a 2014

Fonte: elaborado pela autora

A avaliação da evolução do iVSEA nos municípios apresentada na Figura 4.5, como um todo, não leva a claras conclusões, mas permite algumas observações pontuais. Vê-se uma persistência da vulnerabilidade em alguns “bolsões” de pobreza que coincidem com municípios com menor atendimento de água e energia elétrica: ao norte, São José do Belmonte, Mirandiba e Carnaubeira da Penha; a leste, Afrânio e Santa Filomena. As cidades ao sul de Umburana e Mirangaba também apresentam pouca alteração com alta vulnerabilidade, além de estarem entre as cidades com baixa precipitação, balanço hídrico crítico (MMA; COBRAPE-PROJETEC, 2017) e consequente alta demanda de irrigação. Destacam-se também Petrolina e Juazeiro, consistentemente entre os

municípios menos vulneráveis. Por outro lado, Rodelas, município de preocupação especial pela grande quantidade de aldeias indígenas, se destaca pela vulnerabilidade consistente até 2012. A ausência de dados nos anos subsequentes sugere ainda maior vulnerabilidade diante da baixa capacidade institucional, característica comum a Betânia e Flores. Uma vez que diversos dos indicadores foram normalizados dentro os valores do próprio submédio, estas desigualdades em nível regional ficam mais exacerbadas.

A Figura 4.6 traz uma outra visão dos dados avaliados: a evolução do iVSEA combinado para toda a região, por dimensão da vulnerabilidade.

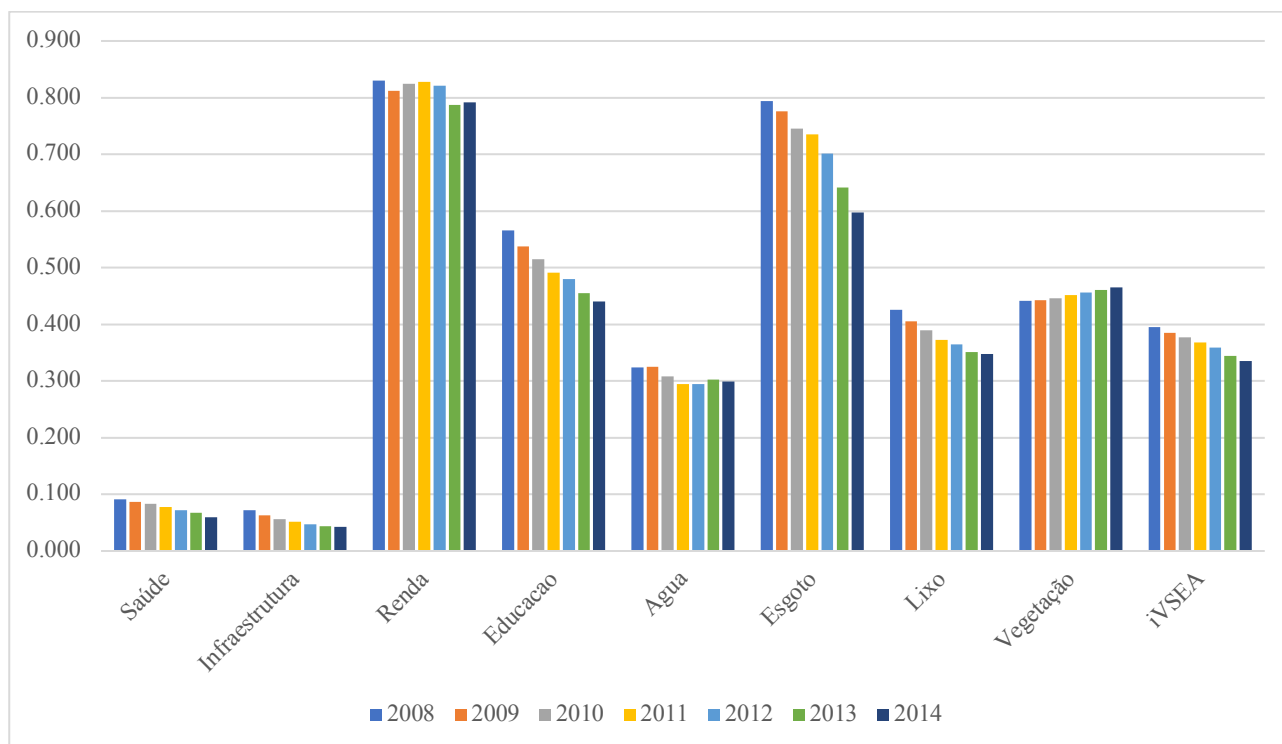


Figura 4.6 - Evolução da vulnerabilidade em distintas dimensões socioeconômicas e ambientais e reflexos no iVSEA médio para os municípios do SMSF nos anos de estudo

Fonte: elaborado pela autora

Na figura acima, para simplificar a visualização, os indicadores que compõem o iVSEA foram categorizados e combinados em distintas dimensões da vulnerabilidade para mostrar em que áreas houve mais avanços. A agregação dos indicadores em sub-índices conforme grandes categorias de indicadores fornece algumas constatações interessantes: com exceção do uso do solo e cobertura vegetal e do revés na renda durante os períodos mais secos, todos os aspectos tiveram reduções na vulnerabilidade que proporcionaram à população melhor capacidade de lidar com os efeitos adversos da seca e observa-se uma evolução geral no sentido da mitigação da vulnerabilidade. Indicadores de saúde, sobretudo relacionados à segurança alimentar e nutricional e às doenças de veiculação hídrica

apresentaram melhoras contínuas, bem como os indicadores que avaliam a qualidade da educação nos municípios mostrou melhoria considerável. A infraestrutura em nível domiciliar também passou por melhorias significativas: robustez da habitação, acesso a energia elétrica, acesso aos sistemas de coleta de lixo e sobretudo a grande melhoria no atendimento aos domicílios pela rede de esgotamento sanitário. O impacto da seca e das baixas precipitações, principalmente no ano de 2012, são visíveis na queda dos indicadores de renda e de acesso à água. Os dados de cobertura do solo e vegetação, por sua vez, indicam a contínua degradação que tem afetado a caatinga, tanto pela variação no regime de chuvas quanto pela ação antrópica degradante. As melhorias encontradas possivelmente se devem mais às políticas e iniciativas de seguridade social que visam a mitigação da vulnerabilidade social do que efetivamente a criação de capacidades adaptativas e estratégias estruturantes específicas para os riscos climáticos aos meios produtivos.

Uma vez criado o iVSEA, a pesquisa se voltou para a criação do modelo linear de determinação da vulnerabilidade. Como passo essencial à validade do modelo, foram analisadas as premissas para aceitação do modelo linear, debatidas a seguir.

4.2.2 Análise das premissas para a regressão linear múltipla

Uma etapa crítica do uso de modelagem por regressão linear múltipla (RLM) é a verificação da adequação dos dados ao modelo para que a análise tenha a devida validade. Diversos métodos estatísticos e de análise foram desenvolvidos para investigação das premissas. Este trabalho utilizou métodos sugeridos por Lund e Lund pelo software Laerd Statistics (2015) e pelo Instituto de Pesquisa Digital e Educação - UCLA (UCLA IDRE, 2019). O processo de verificação das premissas passou por diversas iterações e resultou em modificações e diferentes versões de ambos modelos (I e II) de estudo para que fossem gerados resultados estatisticamente significativos. Esta seção resume o processo das iterações que levaram às escolhas dos modelos, bem como descreve em detalhes a verificação das premissas para os modelos finais: natureza das variáveis independentes; natureza da variável dependente; independência das observações; existência de relação linear entre preditores e variável dependente, individual e coletivamente; homoscedasticidade; colinearidade múltipla; inexistência de dados discrepantes (estatísticas de influência); e normalidade dos resíduos. As premissas para os modelos I e II foram avaliadas conjuntamente, uma vez que esse processo não afeta o resultado final.

Modelo original: usos múltiplos da água, consumo total e consumo de energia

A proposta original para modelagem da vulnerabilidade em função das dimensões do *nexus* água-energia-alimento considerou as demandas de distintos setores e usos múltiplos da água, conforme as classificações estabelecidas pela ANA (ANA, 2019). Aos usos consuntivos, adicionou-se o consumo de energia elétrica para uso residencial por município, como proxy para o uso não consuntivo de geração de energia elétrica. Para a análise inicial, foram também adicionados os dados de precipitação e variância da precipitação. A análise das premissas com todas as variáveis normalizadas retornou problemas de colinearidade múltipla conforme as Figura 4.7 e Figura 4.8. Como consequência, as variáveis de entrada se mostraram redundantes na previsão de variações na vulnerabilidade, dificultando a distinção de que dimensão poderia explicar essas variações. Ainda, a colinearidade pode resultar em coeficientes da regressão múltipla instáveis (com alta variância) e desvios padrão inflados.

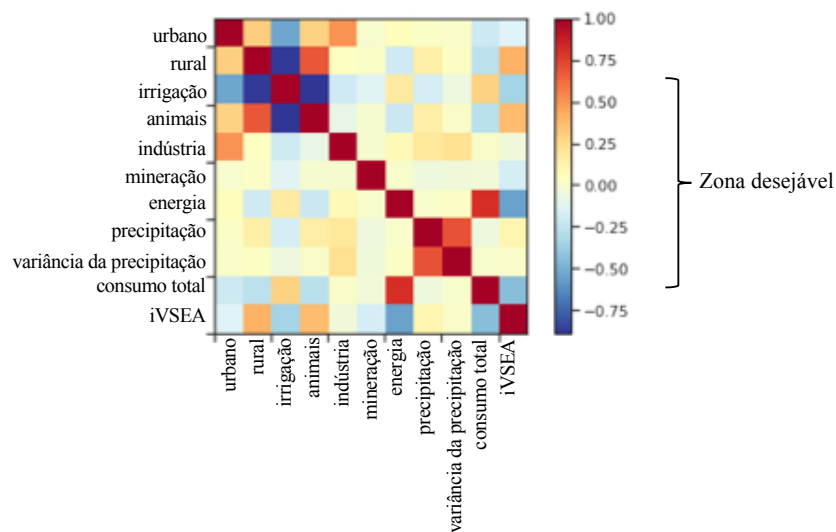


Figura 4.7 – Matriz de correlação dos usos múltiplos da água no SMSF (*heatmap*)

Fonte: elaborado pela autora.

	ncons_hurb	ncons_hrur	ncons_irrig	ncons_anim	ncons_ind	ncons_min	ncons_energia	nprecip_mm	nvarprecip	cons_total	IVSEA
	1.000000	0.308216	-0.530210	0.292540	0.506244	0.009089	0.065485	0.026530	0.018900	-0.203427	-0.138005
	0.308216	1.000000	-0.872073	0.683446	0.045131	0.025442	-0.196456	0.143474	0.033840	-0.261754	0.411901
Correlações	-0.530210	-0.872073	1.000000	-0.892111	-0.194267	-0.117937	0.177940	-0.171030	-0.056037	0.297661	-0.340115
Alta	0.292540	0.683446	-0.892111	1.000000	-0.072592	-0.000275	-0.208770	0.152459	0.021119	-0.269617	0.375303
Moderada	0.506244	0.045131	-0.194267	-0.072592	1.000000	0.001095	0.086104	0.189839	0.233461	0.019768	-0.041669
	0.009089	0.025442	-0.117937	-0.000275	0.001095	1.000000	0.009703	-0.048621	-0.037936	-0.028666	-0.169004
	0.065485	-0.196456	0.177940	-0.208770	0.086104	0.009703	1.000000	0.011436	0.034542	0.812076	-0.545907
Esperada	0.026530	0.143474	-0.171030	0.152459	0.189839	-0.048621	0.011436	1.000000	0.697518	-0.049178	0.106600
	0.018900	0.033840	-0.056037	0.021119	0.233461	-0.037936	0.034542	0.697518	1.000000	0.012229	0.017186
	-0.203427	-0.261754	0.297661	-0.269617	0.019768	-0.028666	0.812076	-0.049178	0.012229	1.000000	-0.439967
	-0.138005	0.411901	-0.340115	0.375303	-0.041669	-0.169004	-0.545907	0.106600	0.017186	-0.439967	1.000000

Figura 4.8 - Matriz de correlação entre os usos múltiplos da água no SMSF (valores)

Fonte: elaborado pela autora

A análise das matrizes de correlação tem especial relevância para a escolha das variáveis independentes. A inspeção visual do *heatmap* sugere a existência de variáveis com alta correlação entre si pelas cores escuras (tanto para o vermelho, nas correlações positivas, quanto para o azul, nas correlações negativas). De fato, os valores destacados em vermelho na Figura 4.8 confirmam altos coeficientes de correlação (superiores a 0,7) entre consumo humano rural e a agricultura irrigada, consumo para criação e dessedentação de animais e agricultura irrigada, consumo de energia e consumo total de água pelo município, precipitação e variância normalizada da precipitação. Os destaques em amarelo indicam correlações moderadas, que requerem cautela para seu uso no modelo. Os valores destacados em verde não precisam ser considerados, uma vez que se trata da relação do consumo de energia com a variável de saída, que é justamente o que se quer avaliar no estudo.

Diante destas correlações, o modelo precisou ser modificado e as variáveis transformadas. Os dados do consumo de água para a indústria de transformação e para a mineração apresentavam demasiadas lacunas, além de representarem, para a maioria dos municípios, valores pouco significativos no montante total de água consumida. As variáveis foram, portanto, eliminadas por não contribuírem para o modelo. O consumo de água para criação de animais e o consumo total do município, ainda que representassem indicadores relevantes no âmbito da abordagem *nexus*, consistentemente apresentaram altas correlações com o consumo para irrigação e com o consumo humano rural (consumo para animais), e com o consumo de energia elétrica (consumo total). Distintos métodos de transformação e normalização dos dados foram aplicados na tentativa de reduzir a colinearidade múltipla. Foram realizadas normalização pelas médias, padronização (diminuição pela média e divisão pelo desvio padrão), inversão e transformação logarítmica, bem como a associação do consumo para criação de animais com o consumo de água para irrigação (dentro de uma lógica do

consumo de água para a segurança alimentar na agropecuária). Estas transformações, entretanto, ainda resultaram em problemas de colinearidade para estes indicadores, que foram, portanto, descartados. Por fim, o consumo de água para abastecimento humano nos meios urbano e rural foi combinado em uma única variável. Mais uma vez foram realizadas múltiplas iterações para verificação de premissas após distintas tentativas de transformação das variáveis. As premissas foram atendidas após transformação logarítmica de todas as variáveis.

Dois modelos de regressão foram testados. O primeiro incluiu três variáveis de entrada independentes, representativas das dimensões do WEF *nexus*: consumo de água para abastecimento humano (segurança hídrica), consumo de água para a irrigação (segurança alimentar) e consumo de energia elétrica (segurança energética). O segundo adicionou as variáveis de exposição aos preditores para entender como a vulnerabilidade seria afetada quando os fatores fossem observados em conjunto.

Modelo proposto para o estudo: análise dos usos nexus água-energia-alimento

A nova matriz de correlação para estes dados está representada nas Figura 4.9 e Figura 4.10. No *heatmap*, é importante notar a mudança na escala de cores em relação à Figura 4.7. Deste modo, a referência em azul escuro vista na relação entre irrigação e consumo humano passou a representar correlação negativa moderada. Diante da expectativa de que o consumo de água para abastecimento humano e para a irrigação seriam de grande importância para a mitigação da vulnerabilidade, definiu-se por prosseguir com cautela com as variáveis independentes abaixo, observando-se o comportamento destas duas dimensões para posterior decisão sobre a consistência do modelo.

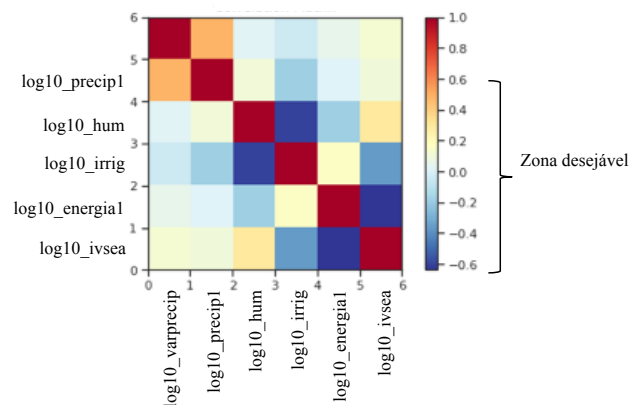


Figura 4.9 – Matriz de correlação entre os usos *nexus* no SMSF (*heatmap*)

Fonte: elaborado pela autora

Correlações		log10_varprecip	log10_precip1	log10_hum	log10_irrig	log10_energia1	log10_ivsea
Alta	log10_varprecip	1.000000	0.482007	0.026808	-0.037556	0.056845	0.128360
	log10_precip1	0.482007	1.000000	0.104325	-0.180303	0.020277	0.103500
Moderada	log10_hum	0.026808	0.104325	1.000000	-0.605340	-0.183079	0.291616
	log10_irrig	-0.037556	-0.180303	-0.605340	1.000000	0.166662	-0.359442
Esperada	log10_energia1	0.056845	0.020277	-0.183079	0.166662	1.000000	-0.637848
	log10_ivsea	0.128360	0.103500	0.291616	-0.359442	-0.637848	1.000000

Figura 4.10 – Matriz de correlação entre os usos *nexus* no SMSF (valores)

Fonte: elaborado pela autora

O primeiro modelo de regressão linear múltipla foi então avaliado tendo como preditores o consumo de água humano, consumo de água para a irrigação e consumo de energia elétrica; e o índice de vulnerabilidade socioeconômico e ambiental como variável de saída. Os resultados da regressão estão apresentados no Quadro 4.3.

Apesar de que as premissas para uso do modelo foram adequadas, a estatística t para o consumo de água para abastecimento humano revelou que o coeficiente angular desta variável no modelo não é significativamente diferente de zero para o intervalo de confiança de 95% (significância > 0,05) e a análise falha em rejeitar a hipótese nula A.2 da Tabela 4.2. Deste modo, conclui-se que o consumo de água para abastecimento humano combinado dos ambientes rural e urbano não faz contribuição significativa para o modelo linear e foi, conseqüentemente, eliminada. Esta constatação é discutida em mais detalhes na análise da regressão linear.

Quadro 4.3 - Regressão linear múltipla para o logaritmo em base 10 do consumo de energia elétrica, consumo de água para irrigação e para abastecimento humano como preditores da vulnerabilidade no SMSF

. regress log10_ivsea log10_hum log10_irrig log10_energia1						
Source	SS	df	MS	Number of obs	=	630
Model	1.97135038	3	.657116795	F(3, 626)	=	187.87
Residual	2.18962891	626	.00349781	Prob > F	=	0.0000
Total	4.16097929	629	.006615229	R-squared	=	0.4738
				Adj R-squared	=	0.4712
				Root MSE	=	.05914

log10_ivsea	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
log10_hum	.006601	.0060185	1.10	0.273	-.005218 .01842
log10_irrig	-.0342302	.0052829	-6.48	0.000	-.0446047 -.0238558
log10_energia1	-1.17461	.0587591	-19.99	0.000	-1.289999 -1.059221
_cons	-.4098244	.0073853	-55.49	0.000	-.4243274 -.3953214

Fonte: elaborado pela autora no Stata SE

O segundo modelo de regressão linear múltipla incluiu nos preditores a precipitação acumulada média, a variância da precipitação acumulada média, o consumo de água humano, consumo de água para a irrigação e consumo de energia elétrica; e o índice de vulnerabilidade socioeconômico e ambiental como variável de saída. Os resultados da regressão estão apresentados no Quadro 4.4.

Mais uma vez, a estatística t revelou que os coeficiente angulares do consumo de água para abastecimento humano e da precipitação acumulada mensal média no modelo não são significativamente diferentes de zero para o intervalo de confiança de 95% (significância > 0,05) e a análise falha em rejeitar as hipóteses nulas A.2 e B.1 da Tabela 4.2 Tabela 3.8. As variáveis foram, portanto, eliminadas do segundo modelo linear, por não contribuírem significativamente com a determinação da vulnerabilidade.

Quadro 4.4 - Regressão linear múltipla para o logaritmo em base 10 do consumo de energia elétrica, consumo de água para irrigação e para abastecimento humano, a precipitação acumulada mensal média e a variância da precipitação acumulada mensal média como preditores da vulnerabilidade no SMSF

. regress log10_ivsea log10_precip1 log10_varprecip log10_hum log10_irrig log10_energi						
Source	SS	df	MS	Number of obs	=	630
Model	2.0680948	5	.41361896	F(5, 624)	=	123.32
Residual	2.09288449	624	.003353982	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.4970
				Adj R-squared	=	0.4930
Total	4.16097929	629	.006615229	Root MSE	=	.05791

log10_ivsea	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
log10_precip1	-.005126	.035644	-0.14	0.886	-.0751227 .0648708
log10_varprecip	.0230149	.0048212	4.77	0.000	.0135472 .0324826
log10_hum	.0062176	.0058941	1.05	0.292	-.0053571 .0177922
log10_irrig	-.033474	.0052395	-6.39	0.000	-.0437631 -.0231849
log10_energi	-1.194522	.0576754	-20.71	0.000	-1.307783 -1.08126
_cons	-.4822431	.0155246	-31.06	0.000	-.5127298 -.4517564

Fonte: elaborado pela autora no Stata SE

Modelo final: análise das premissas das variáveis significativas

As oito premissas necessárias à validação dos modelos de regressão múltipla foram avaliadas em função dos dois modelos finais (I e II). O primeiro considerou os dados transformados de irrigação e energia (logaritmo na base 10 da vazão de consumo de água normalizado para a agricultura irrigada e o logaritmo na base 10 do consumo normalizado de energia elétrica para uso residencial mais um) como preditores; e logaritmo na base 10 do índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental como variável de saída. O segundo modelo adiciona aos preditores os dados de variância da precipitação acumulada mensal média, também transformados (logaritmo na base 10 da variância da

precipitação acumulada mensal média mais um). Para simplificação, os preditores serão descritos como irrigação, energia e variância da precipitação na análise dos dados, e a variável de saída, vulnerabilidade. Essa seção descreve a verificação das premissas de ambos os modelos. Os resultados serão discutidos e interpretados em mais detalhes adiante.

a. *A variável dependente deve ser contínua;*

O índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental (iVSEA) foi criado de maneira que os indicadores que o compõem fossem normalizados para receber valores que variassem entre zero e um. O índice agregado dos indicadores foi calculado pela média aritmética dos indicadores, e, portanto, os valores de iVSEA também variam entre zero e um, e, portanto, é também uma variável contínua. A variável independente considerada em ambos modelos foi a transformada logarítmica do índice, ou seja, \log_{10} iVSEA, que também é, portanto, uma variável contínua.

b. *As variáveis independentes devem ser contínuas ou categóricas*

Modelo I: os consumos de água para irrigação e de energia elétrica foram normalizados e, como o iVSEA, variam entre zero e um. Deste modo, as variáveis preditoras \log_{10} irrigação e \log_{10} energia também são contínuas.

Modelo II: os dados de precipitação média mensal são contínuos, de forma que a variância da precipitação mensal e a transformada logarítmica da variância da precipitação também o são. Como no modelo anterior, as duas outras variáveis independentes (irrigação e energia) também são contínuas e a condição é satisfeita.

c. *Independência dos erros / independência de observações*

A independência das observações foi confirmada pelo teste de Durbin-Watson, conduzido no Stata SE.

Para o modelo I, o teste retornou a estatística-d de Durbin-Watson de 1,941 para o total de 630 observações e três parâmetros estimados. Para o modelo II, o teste retornou o valor de 2,066 para 630 observações e quatro parâmetros estimados.

Os resultados do teste podem variar entre zero e quatro. Valores desejáveis para que a hipótese da independência das observações seja satisfeita devem estar próximos de dois e dentro dos limites do intervalo entre um e três. Os valores encontrados, portanto, sugerem que não existe correlação entre os erros de observações adjacentes em nenhum dos modelos.

d. Relação linear entre preditores e variável independente, individual e coletivamente

A inspeção da linearidade entre as variáveis dependentes e $\log_{10}iVSEA$ foi testada em duas partes. Primeiro, verificou-se a relação entre a variável de saída e os preditores coletivamente. O gráfico de dispersão entre os valores de saída previstos (linha da regressão linear de melhor ajuste) pelos modelos lineares I e II e os resíduos padronizados da Figura 4.11 sugerem a formação de uma bandas horizontais, o que indica que a relação entre os preditores e a variável de saída é provavelmente linear. Os resíduos padronizados representam uma medida da força da diferença entre os valores observados e aqueles esperados.

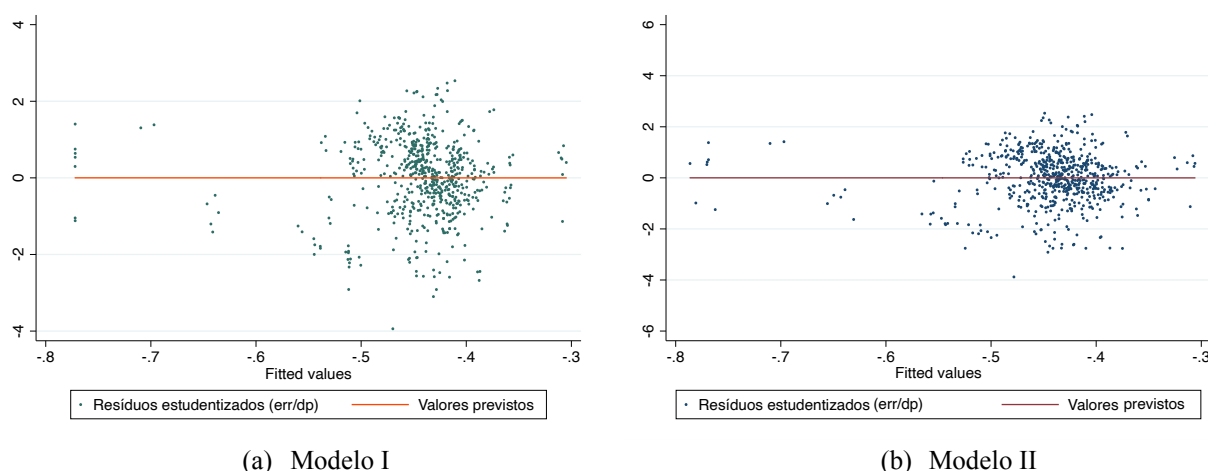
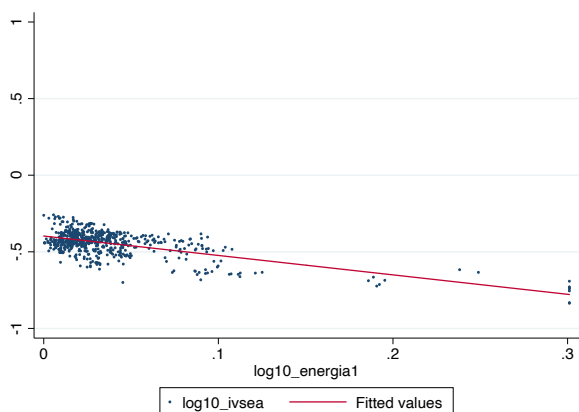


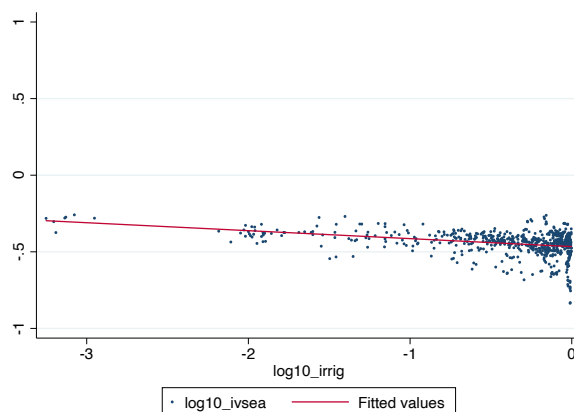
Figura 4.11 - Gráfico de dispersão entre valores de saída previstos e resíduos padronizados para os modelos de regressão I (a) e II (b)

Fonte: elaborado pela autora no Stata SE

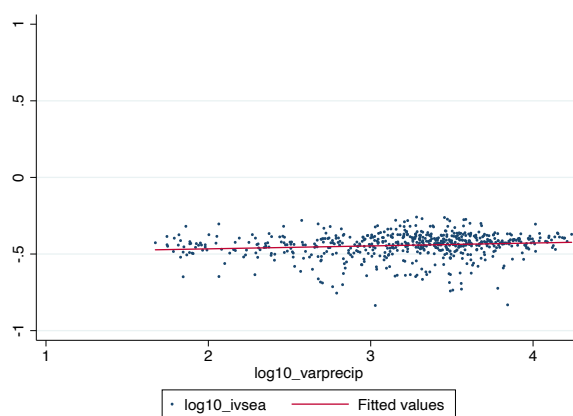
Segundo, as relações entre variável de saída e preditores foram avaliadas individualmente. A inspeção dos gráficos de regressão parcial na Figura 4.12 entre as variáveis sugere relação linear entre os dados observados (ou, mais especificamente, não sugere relações não-lineares).



(a) Modelos I e II: \log_{10} energia1



(b) Modelos I e II: \log_{10} irrigação



(c) Modelo II: \log_{10} varprecip

Figura 4.12 - Inspeção visual das relações entre o logaritmo na base 10 de iVSEA e (a) \log_{10} energia1;

(b) \log_{10} irrigação e (c) \log_{10} varprecip

Fonte: elaborado pela autora no Stata SE.

e. Homoscedasticidade (variâncias dos erros iguais)

O mesmo gráfico da Figura 4.11 pode ser analisado para confirmar a homoscedasticidade dos dados em estudo para os modelos I e II. As variações ao longo da linha de melhor ajuste permanecem semelhantes por toda a linha, e a linha de melhor ajuste coincide com a reta $y=0$. Portanto conclui-se que a variância é igual para todos os valores previstos para a variável dependente.

f. Colinearidade múltipla – inspeção dos coeficientes de correlação e inflação da variância

As análises anteriores das matrizes de correlação verificaram a ausência de fortes correlações entre as variáveis independentes para os modelos I e II uma vez que a variável de consumo de água humano foi eliminada. As matrizes das Figura 4.13 e Figura 4.14 indicam baixos coeficientes de correlação entre todas as variáveis preditoras. Ainda, o cálculo do fator de inflação da variância (VIF) resultou para todas as preditoras um baixo valor próximo a um:

$$\text{VIF } \log_{10} \text{ energia1} = 1,03$$

$$\text{VIF } \log_{10} \text{ irrigação} = 1,03$$

$$\text{VIF } \log_{10} \text{ varprecip} = 1,01$$

Os valores próximos de um representam a estabilidade das variâncias e sugerem que não existe colinearidade entre as variáveis.

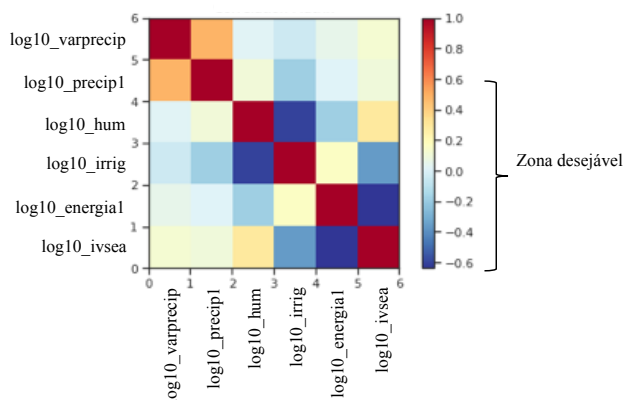


Figura 4.13- Matriz de correlação entre variáveis do modelo de regressão múltipla (heatmap)

Fonte: elaborado pela autora.

Correlações		log10_varprecip	log10_precip1	log10_hum	log10_irrig	log10_energia1	log10_ivsea
Alta	log10_varprecip	1.000000	0.482007	0.026808	-0.037556	0.056845	0.128360
	log10_precip1	0.482007	1.000000	0.104325	-0.180303	0.020277	0.103500
Moderada	log10_hum	0.026808	0.104325	1.000000	-0.605340	-0.183079	0.291616
	log10_irrig	-0.037556	-0.180303	-0.605340	1.000000	0.166662	-0.359442
Esperada	log10_energia1	0.056845	0.020277	-0.183079	0.166662	1.000000	-0.637848
	log10_ivsea	0.128360	0.103500	0.291616	-0.359442	-0.637848	1.000000

Figura 4.14 - Matriz de correlação entre variáveis do modelo de regressão múltipla (valores)

Fonte: elaborado pela autora

g. Ausência de dados discrepantes

Modelo I: uma inspeção dos dados indicou duas observações (Petrolândia e Jaguarari, ambas em 2014) que poderiam ser consideradas discrepantes dos demais dados, uma vez que apresentaram resíduo estudentizado (erro / desvio padrão) inferiores a -3,0, enquanto todas as outras observações apresentaram erros com desvio padrão entre -3,0 e 3,0. A verificação das estatísticas de resíduos na Tabela 4.3, no entanto, revela que nenhuma observação apresentou alavancagem acima de 2,0 ou abaixo de -2,0 (o valor mais alto foi de 0,0682 e o mais baixo de 0,0016). A inspeção de pontos que pudessem influenciar os resultados tampouco apresentou valores para o teste de distância de Cook acima de 1,0 ou abaixo de -1,0 (o valor mais alto foi de 0,0480 e o mais baixo foi bastante próximo de zero). Portanto, ainda que os erros das observações de 2014 em Petrolândia e Jaraguari tenham apresentado alto desvio padrão, não se espera que tenham influência significativa sobre os resultados e a remoção dos dados não afetariam a análise.

Modelo II: de maneira similar, a inspeção dos dados para o modelo que inclui as informações de exposição entre os preditores indicou uma única observação (Petrolândia, em 2014) que poderia ser discrepante dos demais dados. O resíduo estudentizado encontrado foi de -3,8796. Mais uma vez, a inspeção da Tabela 4.3 revela que nenhum dado apresentou alavancagem menor que -2,0 ou maior que 2,0 (valores encontrados variam entre 0,01682 e 0,07030), e tampouco os valores de influência retornaram o teste de distância de Cook abaixo de -1,0 ou acima de 1,0 (valor mínimo próximo de zero e valor máximo de 0,03479). Assim, apesar do alto desvio padrão no resíduo da observação, os dados de Petrolândia de 2014 não deverão influenciar resultados e análise e foram, portanto, mantidos.

Tabela 4.3 Estatísticas de resíduos para os modelos de regressão I e II

	Variável	Observações	Média	Desvio Padrão	Min	Max
Modelo I	Resíduos estudentizados	630	-.0003267	1.002553	-3.939627	2.535534
	Alavancagem	630	.0047619	.0085258	.0015967	.0682123
	Influência (Cook's distance)	630	.0014981	.0036289	7.72e-10	.0480361
Modelo II	Resíduos estudentizados	630	-.0002398	1.002507	-3.87963	2.532024
	Alavancagem	630	.0063492	.0086443	.0016824	.0703066
	Influência (Cook's distance)	630	.0014796	.0031298	3.56e-11	.0347922

h. Normalidade de resíduos

Tanto para o modelo I quanto para o modelo II, a inspeção visual histograma dos resíduos padronizados da Figura 4.15 aparentam estar distribuídos de forma aproximadamente normal. Os pontos nos gráficos P-P normal (*normal probability plot* ou gráficos de probabilidade normal) da Figura 4.16 mostram que os dados empíricos se aproximam dos dados de distribuição normal na reta diagonal. Do mesmo modo, a Figura 4.17 indica que os quantis dos resíduos empíricos e teóricos também são semelhantes, a partir dos gráficos Q-Q normal (*quantile-quantile plot* ou gráfico de probabilidade de distribuição quantil-quantil) aproximadamente alinhados com a reta diagonal.

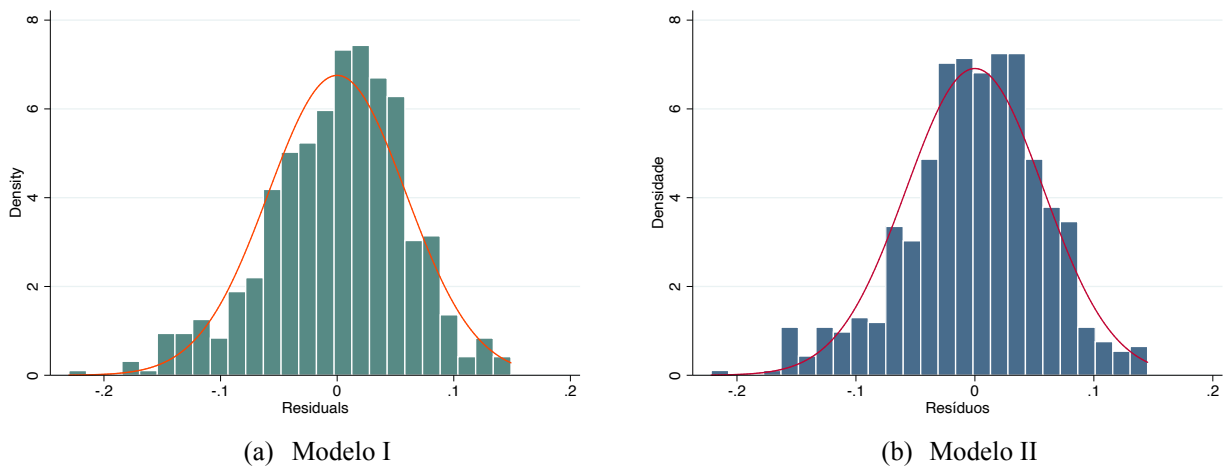
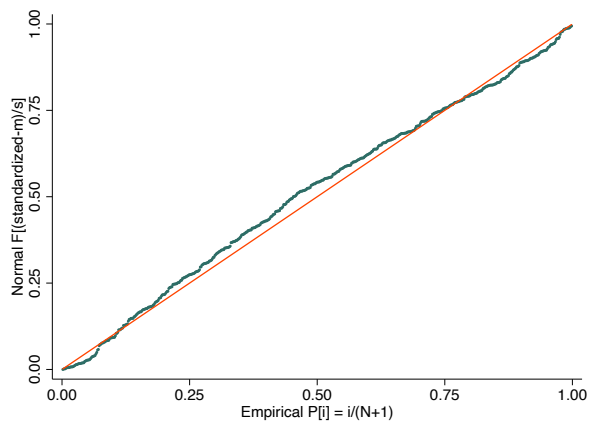
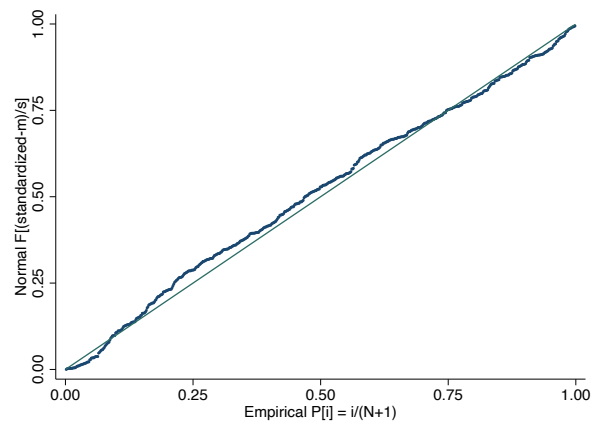


Figura 4.15 - Histograma dos resíduos padronizados para os modelos de regressão I (a) e II (b)

Fonte: elaborado pela autora



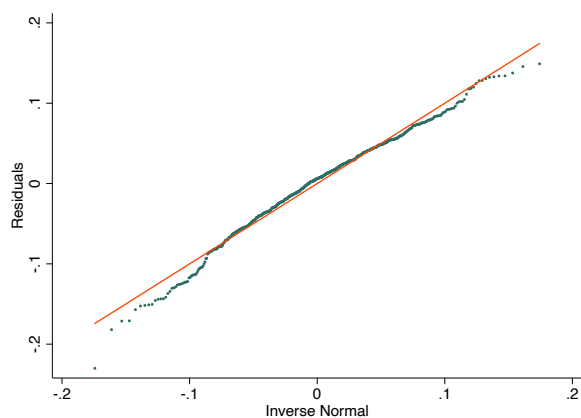
(a) Modelo I



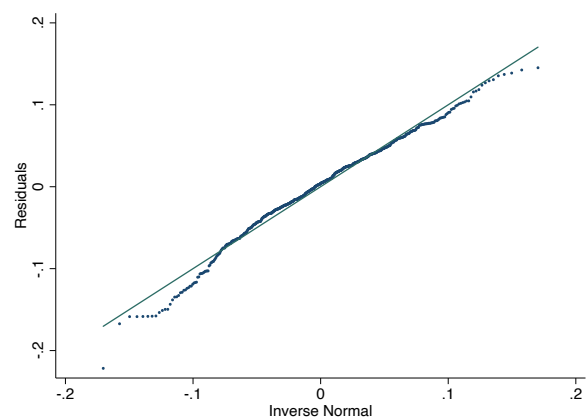
(b) Modelo II

Figura 4.16 - Gráficos P-P normal dos resíduos padronizados para os modelos de regressão I (a) e II (b)

Fonte: elaborado pela autora



(a) Modelo I



(b) Modelo II

Figura 4.17 - Gráficos Q-Q normal dos resíduos para os modelos de regressão I (a) e II (b)

Fonte: elaborado pela autora

Deste modo, para os modelos de regressão linear I e II, todas as premissas estão satisfeitas.

4.2.3 Análises de regressão linear múltipla

Uma vez que a estrutura do índice de vulnerabilidade socioeconômico e ambiental foi validada pelas percepções locais da vulnerabilidade às mudanças climáticas e as premissas para o uso da ferramenta de regressão linear múltipla foram atendidas, os dados coletados para os 92 municípios do SMSF foram avaliados em dois modelos.

O primeiro modelo (I) buscou avaliar a interação entre dimensões do *nexus* água-energia-alimento na determinação da vulnerabilidade para os municípios do submédio Rio São Francisco nos anos de 2008 a 2014. Os dados transformados de consumo de energia elétrica para uso residencial e de consumo de água para consumo humano e para a agricultura irrigada foram utilizados como variáveis preditoras para avaliar em que medida essas dimensões, quando avaliadas em conjunto, são capazes de explicar variações na vulnerabilidade.

O segundo modelo (II) parte da base estabelecida no modelo anterior e inclui dados de exposição para avaliar como as mudanças climáticas afetam a dinâmica entre as seguranças energéticas e alimentar na determinação da vulnerabilidade para os mesmos recortes geográfico e temporal. Além das variáveis preditoras do modelo I, dados também transformados da variância da precipitação acumulada mensal média foi inserida como entrada para a regressão linear múltipla.

Para que as condições de uso do modelo de regressão linear fossem satisfeitas e de modo a evitar colinearidade múltipla entre as variáveis de entrada, os dados foram normalizados e passaram por transformação logarítmica na base 10. Além disso, do total de 644 observações (92 municípios em sete anos), 14 observações foram descartadas durante o tratamento dos dados originais por ausência de informações.

Os resultados dos dois modelos são discutidos a seguir.

4.2.3.1 Modelo I – Variáveis do *nexus* água-energia-alimento

Como detalhado no Quadro 4.3, o resultado da regressão linear contendo as três variáveis de entrada (consumo de água para abastecimento humano, consumo de água para a irrigação e consumo de energia elétrica) retornou resultados estatisticamente significativos para o modelo. Entretanto, a estatística t para o consumo de água para abastecimento humano indicou que para o intervalo de confiança de 95%, o coeficiente de regressão linear dessa variável não é significativamente diferente de zero (de fato, o valor de zero está dentro deste intervalo de confiança). Isso significa que a variável não contribui significativamente para explicar as variações na vulnerabilidade quando avaliada em conjunto com as demais dimensões. Os dados foram, portanto, excluídos do modelo I.

O Quadro 4.5 abaixo fornece a estatística descritiva das variáveis da regressão linear para o modelo I otimizado:

Quadro 4.5 - Estatística descritiva das variáveis da regressão linear múltipla - Modelo I

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
log10_ivsea	630	-.4431863	.0813341	-.8358329	-.2587661
log10_irrig	630	-.4395813	.5622256	-3.251077	-.0021414
log10_ener~1	630	.0364104	.0409269	0	.30103

Fonte: elaborado pela autora

Para realizar a avaliação das hipóteses, uma regressão linear múltipla tendo como variáveis preditoras o logaritmo na base dez do consumo de energia elétrica para uso residencial e das vazões de consumo de água para abastecimento humano e da agricultura irrigada, e o logaritmo na base dez do índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental foi realizada no Stata SE.

O resultado da regressão linear (Quadro 4.7) previu a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental a partir do consumo de energia elétrica e de água para a irrigação dos 92 municípios do SMSF para os anos de 2008 a 2014. O teste de Durbin Watson de 1,941 indicou independência de observações. Entre as variáveis, foram encontradas relações lineares, avaliadas em gráficos de regressão parcial e o gráfico de dispersão dos resíduos estudentizados (erros/desvio padrão) pelos valores previstos pelo modelo. Não se encontrou evidências de colinearidade múltipla, uma vez que os valores de inflação da variância calculados estavam próximos de 1. Tampouco foram encontrados dados discrepantes capazes de influenciar os resultados. Observações de Petrolândia e Jaraguari em 2014 apresentaram resíduos estudentizados maiores que -3 desvios padrão, mas não apresentaram alavancagem superior a $\pm 2,0$ e influência (medida pela distância de Cook) superiores a $\pm 1,0$. A premissa de normalidade dos resíduos também foi atendida, avaliada pelo gráfico de probabilidade normal. Assim, os resultados do modelo de regressão linear múltipla foram estatisticamente significativos para a predição da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental. Dados da qualidade do ajustamento do modelo indicam o teste de distribuição $F(2, 627) = 281,11$; $p < 0,0001$ e coeficiente de determinação $R^2_{ajustado} = 0,4711$.

Quadro 4.6 - Resultados da análise de regressão linear múltipla para o modelo I

. regress log10_ivsea log10_irrig log10_energial, beta						
Source	SS	df	MS	Number of obs	=	630
Model	1.96714281	2	.983571407	F(2, 627)	=	281.11
Residual	2.19383648	627	.003498942	Prob > F	=	0.0000
Total	4.16097929	629	.006615229	R-squared	=	0.4728
				Adj R-squared	=	0.4711
				Root MSE	=	.05915
log10_ivsea	Coef.	Std. Err.	t	P> t		Beta
log10_irrig	-.0376662	.0042545	-8.85	0.000		-.2603695
log10_energial	-1.181359	.0584455	-20.21	0.000		-.5944545
_cons	-.4167299	.0038609	-107.94	0.000		.

Fonte: elaborado pela autora

Os dados da análise ANOVA (*analysis of variance*, ou análise da variância) apresentam a soma dos quadrados explicados (SS Model), a soma dos quadrados dos resíduos (SS Residual) e a soma dos quadrados totais (SS Total). Nota-se que $(SS \text{ Model}) / (SS \text{ Total}) = 0,4728$, ou seja, o valor do coeficiente de determinação R^2 . O fato de que a soma dos quadrados dos resíduos é maior que a soma dos quadrados explicados indica que uma maior parte do comportamento da vulnerabilidade não está explicada pelas variáveis independentes neste modelo.

O coeficiente de determinação R^2 representa a proporção da variação na variável dependente (o logaritmo na base 10 do iVSEA) que pode ser explicada em conjunto pelas variáveis independentes. A inclusão de variáveis no modelo tende a inflacionar o valor de R^2 . Assim, o Stata fornece o coeficiente de determinação ajustado computacionalmente R^2_{ajustado} , que “penaliza” o modelo para refletir o número de preditores e o tamanho da amostra. Neste caso, os consumos de água para irrigação e energia elétrica são capazes de explicar 47,11% das variações no iVSEA. Nota-se que o refinamento do modelo I otimizado mostra que a diferença para o R^2_{ajustado} apresentado no Quadro 4.3, que incluía o consumo de água para consumo humano, foi de 0,4712, confirmando a constatação de que a variável não contribui para o modelo.

Para o número de 630 observações e duas variáveis explicativas do modelo e 627 graus de liberdade, o teste de distribuição F de 281,11 é bastante superior ao valor de 10, indicando que o modelo está bem ajustado. O teste de probabilidade $\text{Prob} > F$ é inferior a 0,0001 (ou seja, $p < 0,0001$), o que indica que podemos rejeitar a hipótese de que todos os coeficientes são simultaneamente iguais a zero.

As variáveis independentes em conjunto são capazes de explicar cerca de 47,11 % da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental na região (a rigor, 47,11% das variações no logaritmo na base 10 do iVSEA podem ser explicados pelas variações no logaritmo na base 10 dos preditores), conforme a equação II:

(II)

$$\log_{10} iVSEA = -0,4167 - 1.1814 x \log_{10} energia1 - 0,3767 \log_{10} irrig$$

Os coeficientes parciais da regressão linear múltipla permitem o entendimento das contribuições únicas de cada variável para a vulnerabilidade. Os coeficientes padrão da regressão parcial (beta) representam o potencial desvio padrão causado no indicador da vulnerabilidade para cada um (1,0) desvio padrão nos indicadores de energia e irrigação (um por vez), se todas as outras variáveis são mantidas constantes.

Reflexões sobre os resultados do modelo I

Os resultados do modelo I otimizado indicam que apenas os dados de irrigação e energia elétrica, quando avaliadas em conjunto, contribuem de maneira estatisticamente significativa para a determinação da vulnerabilidade. Em ambos os casos, os coeficientes negativos confirmam a expectativa de que tanto o acesso à energia elétrica quanto à irrigação contribuem para a redução da vulnerabilidade. Os coeficientes beta, que compensam as diferenças de escala dos preditores, indicam que a contribuição (absoluta) do acesso à energia é maior do que o da irrigação para a redução da vulnerabilidade. De fato, ainda que a região seja fortemente dependente da fruticultura e da agricultura irrigada, mesmo que indiretamente, a segurança energética se mostra mais essencial e diretamente ligada à sobrevivência e qualidade de vida imediata dos indivíduos. A irrigação contribui para a estabilidade da geração de renda e para a segurança alimentar, mas não representa o único modo de vida viável.

A forte relação da água para abastecimento humano com a mitigação da vulnerabilidade é de amplo consenso na comunidade científica, como discutido na revisão da literatura sobre a segurança hídrica. No entanto, seguindo o limite geralmente estabelecido para rejeitar a hipótese nula (ou seja, que o coeficiente de correlação é igual a zero), $P < 0.05$, os resultados encontrados determinaram a exclusão do indicador como variável independente do modelo. Essa constatação abre espaço para a discussão da importância do contexto e da aplicabilidade de ferramentas estatísticas para as ciências sociais. Algumas hipóteses podem ser levantadas a partir desse resultado:

- A correlação moderada entre os dados de irrigação e abastecimento humano observadas na Figura 4.14 tem efeito significativo, de modo que as variáveis juntas são redundantes no modelo. Quando observado de maneira isolada em análise de regressão linear simples, o consumo de água para abastecimento humano apresenta fraca correlação e coeficiente de determinação estatisticamente significativo de 0,0836 para o intervalo de confiança de 95%, conforme o Quadro 4.7:

Quadro 4.7 - Regressão linear simples da vulnerabilidade pelo consumo de água para abastecimento humano

. regress log10_ivsea log10_hum						
Source	SS	df	MS	Number of obs	=	630
Model	.353849349	1	.353849349	F(1, 628)	=	58.37
Residual	3.80712994	628	.006062309	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.0850
				Adj R-squared	=	0.0836
Total	4.16097929	629	.006615229	Root MSE	=	.07786
log10_ivsea	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
log10_hum	.0479185	.0062721	7.64	0.000	.0356016	.0602353
_cons	-.4022383	.0061927	-64.95	0.000	-.4143992	-.3900774

Fonte: elaborado pela autora

- Para além da análise de indicadores, a contribuição da água para consumo humano para a redução da vulnerabilidade, um conceito já exaustivamente discutido e de alta concordância, é inquestionável sobretudo se avaliada de maneira isolada. O acesso a água, assim como a energia, é viabilizador dos plenos direitos humanos como alimentação e nutrição, saneamento, higiene pessoal e saúde. O coeficiente de correlação linear entre as variáveis quando analisado individualmente é estatisticamente significativo, ainda que determine uma correlação fraca e positiva (0,29), o que significa que quanto maior o percentual de água do município destinado ao consumo humano, maior a vulnerabilidade.

A inspeção detalhada do tratamento e da composição do indicador gerado pela ANA explica esta aparente contradição (mas que na verdade segue uma lógica correta e conforme a expectativa do modelo). O indicador é resultado da combinação entre os consumos rural e urbano. O maior peso para a contribuição positiva do indicador vem do consumo de água no ambiente rural, já que o consumo de água urbano, quando analisado individualmente, contribui para a redução da vulnerabilidade ($R_{\text{urbano}} = -0,138$ e $R_{\text{rural}} = 0.412$, vide a Figura 4.7). O consumo rural é calculado pela multiplicação de um coeficiente da literatura (100L/habitante/dia) para a população rural dos estados da Bahia e Pernambuco. O dado foi então normalizado pelo consumo total de água do município. Assim, a fração

de água para consumo humano mais alta não significa que os indivíduos receberam mais água, uma vez que o valor per capita é fixo, mas sim que o consumo total do município é menor (ou seja, o município provavelmente não tem acesso a muitos sistemas de irrigação). As pessoas, a partir dessa lógica de cálculo, recebem os mesmos 100L de água por dia – ou seja, confirma-se a expectativa de que valores mais altos do consumo *normalizado* de água para abastecimento humano resultariam em aumento no índice de vulnerabilidade. Essas constatações explicam também a baixa contribuição para o índice e a correlação moderada com a irrigação, bem como o fato de que os indicadores de consumo humano e para a irrigação preveem uma mesma parte da vulnerabilidade.

Desta relação, podem ainda ser ponderadas algumas considerações: a primeira reforça a relevância do contexto e de abordagens integradas, como o *nexus* água-energia-alimento, uma vez que as relações entre exposição e impacto, capacidade adaptativa e sensibilidade são bastante diferentes quando as múltiplas pressões sobre os sistemas são avaliadas em conjunto.

A segunda consideração a ser feita é sobre a importância da inclusão dos limites planetários nas avaliações desses sistemas. Ainda que a água seja indubitavelmente benéfica e essencial à vida humana, a partir do momento em que a retirada impõe stress aos recursos hídricos, os impactos no sistema socioecológico como um todo são negativos. Gerten et al. (2013), Steffen et al (2018; 2015), Rockström et al (2009) e Falkenmark (FALKENMARK e ROCKSTRÖM, 2006) refletem sobre os limites das retiradas de água azul de águas superficiais. Inicialmente, a discussão se concentrava nos limites de retirada que impõem stress hídrico à bacia, comprometem os serviços ecossistêmicos que apoiam a vida humana e que podem iniciar reações em cadeia irreversíveis no sistema terrestre como um todo. Os limites planetários, considerando as estimativas globais de disponibilidade hídrica sugerem a limitação da retirada em torno de 40% da vazão do rio (ROCKSTRÖM *et al.*, 2009). Mais recentemente, a discussão se centralizou na importância da revisão dos limites incluindo perspectivas de baixo para cima sobre a disponibilidade de hídrica em nível local, trazendo para a discussão os efeitos do contexto, das condições e demandas ambientais dos ecossistemas aquáticos e terrestres da bacia e dos diferentes padrões espaço-temporais (GERTEN *et al.*, 2013). Estimativas que calculam a demanda, por parte do rio, de 20% até 100% da vazão da água durante os períodos secos em locais ameaçados pela desertificação reduzem, portanto, o limite de retirada dos recursos proposto no artigo original de 2009 (ROCKSTRÖM *et al.*, 2009; GERTEN *et al.*, 2013; STEFFEN *et al.*, 2015; STEFFEN, 2019). Na ausência de estudos definitivos que determinassem os limites específicos de retirada para rios em regiões semiáridas, Campos (CAMPOS, 1994) menciona a limitação desse valor em 20% para regiões em desenvolvimento sugerida por Kalinin e Szesztay (1972) e propõe uma

redução para o máximo de 10% no caso de rios em regiões como o SMSF, com alta variabilidade anual dos deflúvios, elevada taxa de evaporação e prolongada estação seca, sobretudo que passaram por projetos de transposição, como no caso da BHSF.

Com o objetivo de preservar a capacidade dos reservatórios de gerar energia durante o período crítico de secas, a vazão de defluência mínima dos reservatórios do rio São Francisco foram sistematicamente reduzidas, chegando a 550m³/s em Sobradinho e 300 m³ em Três Marias (ASCOM ANA, 2018; ANA, 2015). Estima-se, por outro lado, que a vazão de retirada atual nos 512 municípios da bacia seja de 278 m³/s, cerca de 10% da demanda nacional (e dos quais 213 m³/s são destinados à irrigação) (ANA, 2018). Ainda que a disponibilidade hídrica superficial do rio seja bastante superior à retirada (1886 m³/s), vê-se que a demanda em períodos críticos, sobretudo consideradas as baixas vazões de defluência nos reservatórios, pode atingir valores que tem o potencial de comprometer de maneira definitiva a capacidade da bacia de manter seus sistemas socioecológicos e serviços ecossistêmicos. Assim, para todos os usos da água (e não apenas para consumo humano), a teoria dos limites planetários sugere que as retiradas contribuem para a redução da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental desde que respeitados os limites do ecossistema.

Em terceiro lugar, a fraca correlação linear da avaliação individual e a ausência de contribuição para o modelo de regressão linear múltipla indicam que a relação entre a vulnerabilidade e a água não tem forte característica *linear* (em linha com a discussão anterior sobre os limites planetários), mas de forma alguma significa que a relação inexistente. Entende-se que essa relação, se avaliada por valores reais de consumo em lugar de estimativas e observada por dados não normalizados poderiam fornecer correlações distintas e mais significativas.

A pouca contribuição da água retirada do rio São Francisco para o consumo humano à mitigação da vulnerabilidade pode, ainda, ser reflexo dos planos e programas de adaptação e assistência social desenvolvidos para a região sobretudo depois da década de 1990 (LINDOSO, 2013). As entrevistas com atores locais revelaram a importância dos esforços de convivência com o semiárido e programas estruturantes como o projeto Um Milhão de Cisternas para coleta de água da chuva para consumo humano, programas de seguridade social como o Bolsa Família e o Fome Zero que complementam a renda para compra de água e alimentos, o apoio emergencial de municípios e das forças militares no abastecimento de caminhões pipa, fornecem uma blindagem à vulnerabilidade dos sistemas humanos. A retirada destes programas poderia se refletir nos indicadores de vulnerabilidade e conseqüentemente na relação com a água para consumo humano e demais pressões dos usos consuntivos. Por outro lado, projetos e programas destinados à proteção dos sistemas

produtivos em situações de extremos climáticos não receberam a mesma impulsão, o que ajuda a explicar a importância da irrigação para a redução da vulnerabilidade no modelo.

4.2.3.2 Modelo II – Inclusão das variáveis de exposição no modelo de regressão linear

O Quadro 4.4 - Regressão linear múltipla para o logaritmo em base 10 do consumo de energia elétrica, consumo de água para irrigação e para abastecimento humano, a precipitação acumulada mensal média e a variância da precipitação acumulada mensal média como preditores da vulnerabilidade no SMSF Quadro 4.4 apresentou os resultados do modelo II considerando as variáveis independentes representativas do *nexus* água-energia-alimento (consumo de água para abastecimento humano, consumo de água para a agricultura irrigada e consumo de energia elétrica para uso residencial), além das variáveis de exposição (precipitação acumulada mensal média e variância da precipitação acumulada mensal média). Como no primeiro caso, o modelo retornou resultados estatisticamente significativos, mas a estatística t para as variáveis de consumo humano de água e precipitação acumulada média indica que os coeficientes de regressão lineares das variáveis para o intervalo de confiança de 95% não são significativamente diferentes de zero e as variáveis foram excluídas do modelo II.

As estatísticas descritivas do modelo II otimizado para as variáveis de entrada variância da precipitação, irrigação e energia para a previsão do índice de vulnerabilidade socioeconômico e ambiental estão no Quadro 4.8 abaixo:

Quadro 4.8 - Estatística descritiva das variáveis da regressão linear múltipla - Modelo II

. sum log10_ivsea log10_varprecip log10_irrig log10_energial					
Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
log10_ivsea	630	-.4431863	.0813341	-.8358329	-.2587661
log10_varp~p	630	3.208999	.5481534	1.673744	4.23755
log10_irrig	630	-.4395813	.5622256	-3.251077	-.0021414
log10_ener~1	630	.0364104	.0409269	0	.30103

Fonte: elaborado pela autora

Como no modelo I, a transformada logarítmica na base 10 das variáveis de entrada e saída foram utilizadas na regressão linear. O resultado da regressão linear previu a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental a partir do consumo de energia elétrica, da água para a irrigação e da variância da precipitação nos 92 municípios do SMSF para os anos de 2008 a 2014. Todas as premissas para a utilização do modelo de regressão linear foram atendidas. O teste de Durbin Watson retornou o resultado de 2,066, sugerindo independência de observações. As variáveis apresentaram

relações lineares conforme os gráficos de regressão parcial e o gráfico de dispersão dos resíduos estudentizados (erros/desvio padrão) pelos valores previstos pelo modelo. Não foram encontradas evidências de colinearidade múltipla e os valores de inflação da variância encontrados se aproximavam de 1. Uma única observação (Petrolândia em 2014) apresentou dados discrepantes do restante da amostra, por apresentar resíduos estudentizados maior que -3 desvios padrão. No entanto, a análise da influência desta observação sobre os resultados não justificou sua remoção, já que não apresentou alavancagem superior a $\pm 2,0$ e influência (medida pela distância de Cook) superior a $\pm 1,0$. Confirmou-se a premissa de normalidade dos resíduos por meio de histograma, gráfico de probabilidade normal e gráfico Q-Q.

Os resultados do modelo II de regressão linear múltipla foram estatisticamente significativos para a predição da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental. Dados da qualidade do ajustamento do modelo indicam o teste de distribuição $F(3, 626) = 205,44$; $p < 0,0001$ e coeficiente de determinação $R^2_{ajustado} = 0,4937$.

Quadro 4.9 - Resultados da análise de regressão linear múltipla para o modelo I

. regress log10_ivsea log10_varprecip log10_irrig log10_energiat, beta					
Source	SS	df	MS	Number of obs	= 630
Model	2.06428548	3	.68809516	F(3, 626)	= 205.44
Residual	2.09669381	626	.003349351	Prob > F	= 0.0000
Total	4.16097929	629	.006615229	R-squared	= 0.4961
				Adj R-squared	= 0.4937
				Root MSE	= .05787
log10_ivsea	Coef.	Std. Err.	t	P> t	Beta
log10_varprecip	.022734	.0042214	5.39	0.000	.1532167
log10_irrig	-.036594	.0041673	-8.78	0.000	-.2529579
log10_energiat	-1.201122	.0573001	-20.96	0.000	-.6043993
_cons	-.4884925	.0138503	-35.27	0.000	.

Fonte: elaborado pela autora

A análise das variâncias (ANOVA) apresenta a soma dos quadrados explicados (SS Model), a soma dos quadrados dos resíduos (SS Residual) e a soma dos quadrados totais (SS Total). Os valores muito próximos da soma dos quadrados dos resíduos e da soma dos quadrados explicados é indica que cerca de metade das variações no iVSEA podem ser explicadas pela variância na precipitação, pelo consumo de água para a irrigação e pelo consumo de energia elétrica. O coeficiente de determinação $R^2 = (SS Model) / (SS Total) = 0,4961$.

O valor de $R^2_{ajustado}$, que compensa por ajustes computacionais as distorções causadas ao modelo pela inclusão de mais variáveis preditoras foi de 0,4937. Mais uma vez, confirma-se que as variáveis precipitação e consumo de água para abastecimento humano pouco influenciaram o modelo, já que o $R^2_{ajustado}$ para a regressão que incluía estas variáveis preditoras é de 0,4930.

Para 630 observações, três variáveis preditoras e 626 graus de liberdade, o teste de distribuição F retornou o valor de 205,44. O resultado bastante superior ao valor de 10 sugere que o modelo está bem ajustado. O teste de probabilidade $Prob > F$ é inferior a 0,0001 (ou seja, $p < 0,0001$), o que indica que podemos rejeitar a hipótese nula G da Tabela 3.8 de que todos os coeficientes são simultaneamente iguais a zero (e portanto rejeita a hipótese de que não existe relação entre as variáveis independentes e a variável dependente).

Assim, o logaritmo na base 10 da variância da precipitação, do consumo de energia elétrica e do consumo de água para a agricultura irrigada em conjunto são capazes de explicar cerca de 49,61% do logaritmo na base 10 da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental na região, conforme a equação (III)

$$\log_{10} iVSEA = -0,4885 - 1,2011 x \log_{10} energia1 - 0,3660 \log_{10} irrig + 0,0227 \log_{10} varprecip \quad (III)$$

Os coeficientes parciais da regressão linear múltipla permitem o entendimento das contribuições únicas de cada variável para a vulnerabilidade. Os coeficientes padrão da regressão parcial (beta) representam o potencial desvio padrão causado no indicador da vulnerabilidade para cada um (1,0) desvio padrão nos indicadores de energia e irrigação (um por vez), se todas as outras variáveis são mantidas constantes.

Reflexões sobre os resultados do modelo II

O objetivo da modelagem das relações entre as dimensões do *nexus* água-energia-alimento e a vulnerabilidade neste estudo não foi o de prever valores de vulnerabilidade socioeconômica e ambiental, mas sim determinar o quanto as variações na vulnerabilidade podem ser explicadas por decisões sobre o uso e manejo dos recursos hídricos. A inclusão das informações de exposição trouxe o contexto da severa estiagem que afetou a região do submédio rio São Francisco a partir de 2012.

Como no modelo I, os coeficientes negativos encontrados para os consumos de energia elétrica e de água para a irrigação confirmam as expectativas para a regressão linear. O acesso à

energia é dos aspectos mais essenciais à vida moderna, ao mesmo tempo causa e consequência do desenvolvimento das sociedades (VALOIS COELHO & CARTAXO, 2004). O valor absoluto do coeficiente beta para a energia, que compensa no modelo a influência das escalas de cada variável, indica que este é o preditor avaliado que mais contribui para a mitigação da vulnerabilidade. A irrigação, que essencialmente mitiga os impactos aos meios produtivos, também apresentou coeficientes negativos e estatisticamente significativos, como discutido no modelo I.

A constatação de que a precipitação acumulada mensal média não contribui significativamente contradiz a expectativa original de que essa variável poderia influenciar a vulnerabilidade dos sistemas humanos às mudanças climáticas. No entanto, uma maior reflexão levou ao entendimento de que a precipitação média não representa a realidade dos municípios, que enfrenta alta variabilidade intra-anual. De fato, a variância da precipitação se mostrou um indicador mais fidedigno à real condição climática enfrentada por cada município. Mesmo na avaliação individual na regressão linear simples da vulnerabilidade em função da precipitação acumulada média mensal o coeficiente de determinação estatisticamente significativo de 0,0091 encontrado para o intervalo de confiança de 95% foi bastante inexpressivo, vide o Quadro 4.10 abaixo.

Quadro 4.10 - Regressão linear simples da vulnerabilidade em relação à precipitação acumulada mensal média

. regress log10_ivsea log10_precip1						
Source	SS	df	MS	Number of obs	=	630
Model	.044573461	1	.044573461	F(1, 628)	=	6.80
Residual	4.11640583	628	.006554786	Prob > F	=	0.0093
				R-squared	=	0.0107
				Adj R-squared	=	0.0091
Total	4.16097929	629	.006615229	Root MSE	=	.08096
log10_ivsea	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
log10_precip1	.1118437	.0428897	2.61	0.009	.0276192	.1960683
_cons	-.4586015	.0067342	-68.10	0.000	-.4718256	-.4453773

Fonte: elaborado pela autora

A inclusão da variância da precipitação aumentou a capacidade do modelo de explicar a vulnerabilidade, ainda que em menor proporção que os demais preditores. O coeficiente positivo confirma a expectativa de que a inconstância das chuvas é prejudicial aos modos de vida e ao planejamento das atividades produtivas, à saúde dos habitantes e aos ecossistemas, ainda que a média de precipitação acumulada atinja os mesmos níveis de períodos regulares. De fato, os valores praticamente estáveis encontrados para iVSEA no noroeste do SMSF, como mostram os mapas da Figura 4.5, coincidem com a ocorrência das maiores variâncias na precipitação, conforme o mapa da

Figura 3.7 construído no diagnóstico preliminar do projeto. Ainda que não seja o fator de maior influência sobre a vulnerabilidade no SMSF, a variabilidade dos regimes de chuvas se apresenta como um obstáculo ao desenvolvimento local.

Ainda, três considerações podem ser feitas a respeito da influência desta variável de exposição: a primeira está relacionada ao fato de que entre os municípios da região não existe uma homogeneidade de características (iVSEA, precipitação, variância da precipitação, acesso a redes de água e saneamento adequado, etc.), como os mapas supracitados indicaram. Muito pelo contrário, o SMSF se caracteriza por um mosaico bastante diverso de realidades, modos de vida e meios produtivos com configurações e capacidades adaptativas bastante distintas. A variância nos regimes de chuvas é bastante distinta nos diferentes municípios. Naqueles que possuem precipitação acumulada em valores intermediários e altos, a baixa variabilidade intra-anual das chuvas é um importante aspecto da mitigação da vulnerabilidade. No entanto, para os municípios de baixíssima precipitação acumulada, como acontece nos municípios do nordeste do SMSF (São José do Egito, Quixabá e Iguaraci, por exemplo) a baixa variabilidade pode se revelar negativa se os valores não são suficientes para o acúmulo de água em nenhum momento do ano (para lavagem dos telhados e acúmulo nas cisternas, ou para o preparo do solo). Neste caso, a estação chuvosa e a concentração da chuva podem beneficiar o planejamento local. Deste modo, os efeitos negativos e positivos da variância se anulam e a variável contribui menos para o modelo que os demais preditores.

Segundo, esta seca apresentou características distintas das demais estiagens que afetaram o semiárido nordestino no século XX. Como discutido no modelo I, as capacidades adaptativas construídas a partir do paradigma de convivência com o semiárido, a adoção de tecnologias sociais de adaptação, os planos e programas de assistência governamental blindaram os efeitos sobre a vulnerabilidade humana (LINDOSO, 2013; MILHORANCE *et al.*, 2020), ainda que os sistemas produtivos tenham sido gravemente afetados. De fato, a evolução dos valores médios de iVSEA para todos os municípios, de 2008 a 2014 permite observar que, de modo geral e mesmo durante mais graves da seca (2010 e 2012) houve melhorias na redução da vulnerabilidade, como indicou a Figura 4.6.

Retomando o levantamento de políticas e instrumentos com incidência na região retratada na Figura 3.4, os avanços percebidos nas diferentes categorias que compõem o iVSEA são compatíveis com os resultados encontrados por Milhorance *et al.* (2020) na avaliação dos impactos da relação entre distintas tipologias de instrumentos de desenvolvimento na região. Os autores concluem que instrumentos complementares que apoiam o avanço de políticas de adaptação às mudanças climáticas,

como programas de transferência de renda, programas de proteção social e produção inclusiva tiveram maior avanço de implementação. Estes instrumentos, fortemente respaldados por políticas incidentes no semiárido, reforçam objetivos de mitigação da vulnerabilidade social e desenvolvimento de capacidades adaptativas genéricas ao invés de capacidades relacionadas às mudanças do clima.

As melhorias de capacidades genéricas advindas dos avanços na educação, saúde, infraestrutura de saneamento e coleta de lixo resultam portando na mitigação das vulnerabilidades socioeconômica e ambiental. Os impactos sobre a renda e os sistemas naturais evidenciam as falhas na implementação de instrumentos que promovam a produção sustentável e o gerenciamento dos riscos climáticos.

Uma terceira consideração sobre o modelo adotado para a avaliação da vulnerabilidade pode ajudar o entendimento dos resultados encontrados. O objetivo da avaliação da vulnerabilidade na escala municipal priorizou sobretudo informações em nível domiciliar ou dos indivíduos voltadas para a vulnerabilidade humana. Ainda que tenha considerando a indissociabilidade dos sistemas natural e humanos, os itens de qualidade ambiental incluídos na avaliação tem sobretudo a função de avaliar o papel dos serviços ecossistêmicos voltados para a criação de bem-estar social. Deste modo, as capacidades avaliadas pelos indicadores do iVSEA não é capaz de refletir com precisão os sistemas mais afetados pela variação climática e a exposição da região à seca.

Em resumo, a pergunta de pesquisa B foi avaliada pelo modelo II, que agregou as variáveis preditoras precipitação acumulada mensal média e variância da precipitação acumulada mensal média à regressão linear múltipla do índice de vulnerabilidade socioeconômico-ambiental em função das demandas das dimensões nexus água-energia-alimento.

A ausência de relações estatisticamente significativas com a vulnerabilidade quando avaliadas em conjunto com as demais variáveis levou à exclusão dos dados de precipitação e consumo de água para abastecimento humano do modelo. Já a inclusão da variância da precipitação contribuiu para a melhoria qualidade do modelo e de sua capacidade de explicar variações na vulnerabilidade. Ainda que exerça menor influência sobre a vulnerabilidade que a energia e a irrigação, a variância da precipitação contribuiu para o aumento da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental na região. Energia e irrigação, por outro lado, contribuíram para a redução da vulnerabilidade. Deste modo, o modelo foi capaz de prever cerca de 49,6% das variações em iVSEA. A entrada dos dados de exposição alterou em pouco mas reforçou a relevância da energia elétrica e da irrigação, aumentando

os coeficientes beta (ou seja, a proporção de desvios padrão causada na variável dependente a cada um desvio padrão de variação na variável independente).

Objetivo B: *Elaborar ferramentas e argumentos que considerem o contexto das fragilidades locais e que possam subsidiar futuras tomadas de decisão, com o intuito de mitigar a vulnerabilidade às mudanças climáticas no SMSF sobretudo para os povos e comunidades tradicionais e grupos de maior vulnerabilidade.*

O diagnóstico realizado pelo Macrozoneamento Ecológico Econômico da BHSF, ao avaliar as potencialidades da região, afirma que sem que os pequenos agricultores tenham acesso à irrigação, sua produção estará alienada do desenvolvimento agrário e fadada a permanecer pequena e pouco produtiva. Essa constatação não os condena à pobreza ou ao desaparecimento, mas limita até mesmo os benefícios que instrumentos de planejamento podem trazer (MMA; COBRAPE-PROJETEC, 2017). O MacroZEE-SF reconhece, ao mesmo tempo, a essencialidade da irrigação para que os pequenos produtores tenham acesso desenvolvimento da própria sociedade.

Os modos de vida dos pequenos agricultores, de povos e grupos tradicionais como indígenas, quilombolas, comunidades de fundo de pasto, lavadeiras, pescadores e catadores estiveram no centro das atividades realizadas pelo PI SSA, que buscou justamente a inclusão destes grupos para o centro das ações públicas e coletivas para o desenvolvimento sustentável. Neste estudo, buscou-se elaborar metodologia e ferramentas que fossem relevantes para esses atores. Na realidade da bacia, sabe-se que a maioria dos indivíduos tem acesso à energia, com um atendimento de cerca de 90% da população. Ainda, a importância da irrigação e de práticas e equipamentos modernos de agricultura para a região se reflete no alto percentual médio (acima de 50%) do consumo para irrigação dentre os usos consuntivos totais em todos os municípios. A realidade encontrada nas entrevistas, no entanto, foi bastante distinta destas estatísticas. Os resultados encontrados também refletiram a lacuna na vulnerabilidade entre aqueles com e sem acesso à energia e irrigação e o potencial de mitigação de ações voltadas para a expansão do atendimento. Deste modo, tanto o desenho da pesquisa quanto os resultados obtidos estão voltados justamente para os povos sem acesso a estes recursos essenciais.

4.3 PERGUNTA DE PESQUISA CENTRAL

Em que medida as pressões exercidas pela busca da garantia das seguranças do Nexus água-energia-alimento sobre os recursos hídricos dos municípios do submédio curso da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, quando observadas em conjunto, se relacionam com a vulnerabilidade das populações às mudanças climáticas?

A relação entre as seguranças hídrica, alimentar e energética com a vulnerabilidade foi avaliada por meio de análises qualitativa e quantitativa. O modelo I encontrou relações estatisticamente significativas entre as dimensões da segurança energética e alimentar com a vulnerabilidade das populações. A análise dos dados secundários permitiu quantificar as relações e entender prioridades que podem gerar mais externalidades positivas às populações, em dois distintos cenários que incluíssem os dados de exposição. A análise das entrevistas forneceu o contexto local, de modo que foi possível identificar as externalidades positivas e negativas das interações entre as seguranças *nexus*, e entre as seguranças *nexus* e a vulnerabilidade.

As correlações estatisticamente significativas encontradas entre as pressões e demandas das seguranças hídrica, energética e alimentar sugerem papel fundamental do acesso a energia elétrica e aos sistemas de irrigação para a mitigação da vulnerabilidade. As duas variáveis, utilizadas como proxies para as seguranças energética e alimentar, foram capazes de explicar cerca de 47% da vulnerabilidade na região. O modelo que utilizou 630 observações sobre os 92 municípios do SMSF e mais de 30 entrevistas individuais e coletivas buscou garantir que a metodologia fosse relevante à escala individual.

4.3.1 Sinergias e *trade-offs* entre as seguranças alimentar, energética e hídrica no SMSF e implicações para a vulnerabilidade

A Tabela 4.4 apresenta com mais detalhes as relações positivas e negativas das seguranças hídrica, alimentar e energética (de forma bi-direcional) entre si e em relação à vulnerabilidade (de forma unidirecional), considerando o contexto das mudanças climáticas e dos extremos de precipitação. As externalidades positivas foram classificadas como sinergias, enquanto as externalidades negativas foram elencadas como *trade-offs*.

Tabela 4.4 - Sinergias (+) e *trade-offs* (-) encontrados entre as seguranças alimentar, energética e hídrica no SMSF, e as implicações para a vulnerabilidade

Direção das interações↓	Segurança Alimentar	Segurança Energética	Segurança Hídrica
Segurança Alimentar	<p>Segurança alimentar x Vulnerabilidade</p> <p>(+) Melhorias em saúde: nutrição, estilo de vida, hipertensão, diabetes, saúde mental, entre outras; Melhoria da qualidade de vida e bem-estar; Melhoria das qualidades do solo e dos ecossistemas pela adoção de práticas sustentáveis como agroflorestas, rotação de culturas e agricultura orgânica; Criação de empregos</p> <p>(-) Custos e perda de produtividade pela produção de alimentos mais seguros, livres de defensivos e variados; Redução da renda pela adoção de culturas rotativas, em relação à monocultura do côco, por exemplo; Piora da qualidade dos solos pelos sistemas de irrigação; Aumento da pegada ecológica; Agravamento das mudanças climáticas e eventos extremos</p>	<p>(+) Viabilização de sistemas de irrigação; Facilitação das atividades de suporte: comunicação, vendas, assistência técnica; Aumento da produtividade; Viabilização da mecanização; Viabilização do processamento de alimentos e agregação de valor; Refrigeração e armazenagem de alimentos / redução de perdas</p> <p>(-) Aumento do uso de recursos e da pegada ecológica; Aumento dos custos de produção; Comprometimento da vazão do rio à jusante: disponibilidade hídrica e sustentabilidade da pesca; Competição por recursos hídricos; Aumento dos custos domésticos para refrigeração e armazenagem de alimentos</p>	<p>(+) Garantia de água como insumo para a produção irrigada; Manutenção de ecossistemas aquáticos, garantia da pesca; Disponibilidade de água para consumo humano e dessedentação de animais; Aumento da resiliência da produção agrícola às mudanças climáticas e eventos extremos</p> <p>(-) Aumento dos custos de produção com a irrigação; Disponibilidade de água para o processamento de alimentos; Melhorias na higienização e saúde da cadeia produtiva</p>
Segurança Energética	<p>(+) Produção de biocombustíveis (biomassa para biodigestores e usinas de açúcar e álcool) Compatibilidade com geração eólica e solar</p> <p>(-) Competição por investimentos e uso de recursos públicos Aumento de sedimentos no leito do rio que retiram eficiência da geração de energia e aumenta custos de operação</p>	<p>Segurança Energética x Vulnerabilidade</p> <p>(+) Regulação de barragens para o controle de desastres (enchentes e secas); Viabilização do acesso à água para consumo humano e para a irrigação; Viabilização da inserção e inclusão na sociedade: meios de comunicação, acesso ao conhecimento; Geração de bem-estar (iluminação, ventilação); Facilitação de processos geradores de renda (comunicação); Melhorias à saúde (substituição da lenha)</p> <p>(-) Elevação dos custos de vida; Aumento da pegada ecológica; Agravamento das mudanças climáticas e eventos extremos</p>	<p>(+) Disponibilidade hídrica para a geração de energia hidrelétrica; Disponibilidade de água para irrigação de produtos para a produção de biocombustíveis; Atendimento às necessidades básicas ao bem-estar humano, estruturas de governança participativas, resiliência às mudanças climáticas, suporte à geração de renda e à segurança alimentar.</p> <p>(-) Efeitos imprevistos por mudança nas estruturas de poder após independência, custos de desenvolvimento e infraestrutura. Competição por recursos hídricos que fragilizam setores da sociedade (irrigação, saúde,</p>
Segurança Hídrica	<p>(+) Aumento no curto prazo do escoamento nos rios devido à baixa capacidade de retenção dos solos pelo desmatamento;</p> <p>(-) Erosão, lixiviação e sedimentação e depleção de recursos subterrâneos devido à intensificação da agricultura; Perda de biodiversidade e da capacidade de retenção de umidade dos solos pelo desmatamento e conversão de vegetação nativa em área agrícola; Intensificação das mudanças climáticas; Competição da irrigação com abastecimento humano e outros usos consuntivos</p>	<p>(+) Viabilização do bombeamento de água para acesso universal; Viabilização de sistemas de tratamento de água e esgoto; Viabilização de processos de dessalinização da água</p> <p>(-) Aumento da pegada hídrica e intensificação das mudanças climáticas, eventos extremos de seca</p>	<p>Segurança Hídrica x Vulnerabilidade</p> <p>(+) Preservação das funções e processos físicos de regulação e purificação da água; Controle de desastres (secas); Regulação climática; Melhoria da saúde (higiene, hidratação, saneamento)</p> <p>(-) Aumento da poluição pelo uso indiscriminado da água; Diminuição da disponibilidade hídrica para os ecossistemas; Aumento dos custos de irrigação</p>

Fonte: elaborado pela autora

Objetivo Central: *compreender a influência das dimensões das seguranças hídrica, energética e alimentar sobre a vulnerabilidade do submédio curso da bacia hidrográfica do rio São Francisco no contexto das mudanças climáticas*

As análises das relações entre as seguranças hídrica, alimentar e energética foram feitas no contexto das mudanças climáticas que afetam a região, em especial a escassez hídrica e longa estiagem que afetou o SMSF no período de 2012 a 2017. As reverberações sobre a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental foram discutidas dentro das perspectivas locais, de acordo com a relevância apontada pelos atores locais que foram objeto e objetivo do estudo.

A Tabela 4.4 apresenta as relações em nível local entre as seguranças hídrica, energética e alimentar e as reverberações sobre a vulnerabilidade.

CAPÍTULO CINCO

5 CONCLUSÕES E RESUMO DOS RESULTADOS

Este estudo se propôs a avaliar as relações entre as seguranças hídrica, energética e alimentar com a vulnerabilidade socioeconômica e ambiental nos 92 municípios do submédio curso do Rio São Francisco, à luz das mudanças climáticas. Para isso, avaliou dados de indicadores do septênio 2008-2014, de modo que anos chuvosos (2008, 2009 e 2011) foram contrastados com os anos de severa estiagem (2010, 2012, 2013 e 2014). A escala dos indivíduos foi explorada, uma vez que o estudo teve como foco as comunidades mais vulneráveis da região, como pequenos agricultores, assentados, catadores de materiais recicláveis, lavadeiras e pescadores, além de povos e comunidades tradicionais como indígenas, comunidades de fundo de pasto e quilombolas.

Ainda que a escolha dessa escala tenha deixado de avaliar questões macro que pudessem elucidar efeitos das seguranças sobre os processos produtivos, optou-se por buscar as vulnerabilidades específicas dos sistemas humanos, em especial daqueles que “ficaram para trás” nos grandes projetos de desenvolvimento direcionados ao semiárido nordestino.

As entrevistas semiestruturadas realizadas em outubro de 2018 foram codificadas de modo a identificar os pontos mais críticos da vulnerabilidade local. A partir destas análises, uma estrutura de indicadores relevante e legítima pôde avaliar as condições da região, reduzindo os *trade-offs* implícitos e a impersonalidade do método de monitoramento por indicadores. Ainda, os diálogos com lideranças locais tiveram papel fundamental para o entendimento do contexto e para dar sentido às análises dos resultados.

Dois modelos de regressão linear múltipla foram criados para compreender como as definições de uso e manejo dos recursos hídricos afetam a vulnerabilidade dos indivíduos. No primeiro modelo, observou-se a importância do acesso à energia elétrica e à irrigação para a mitigação da vulnerabilidade socioeconômica e ambiental. Um segundo modelo foi fortalecido pela inclusão dos dados de variância da precipitação acumulada mensal média. As variáveis em conjunto foram capazes de explicar cerca de 49% das variações na vulnerabilidade. As expectativas de que a variância da precipitação agiria de modo a aumentar a vulnerabilidade, e que os acessos a energia e irrigação reduziram a vulnerabilidade se confirmaram. Por outro lado, a hipótese de que a precipitação mensal média teria aportes significativos ao modelo não se confirmou.

A importância dos processos participativos (tanto deste estudo como quanto do PI SSA em geral) se dá pela histórica exclusão dos atores-chave, que são ao mesmo tempo objeto e objetivo do estudo, na própria construção de caminhos que levem à redução da vulnerabilidade e à aquisição de capacidades que permitam o desenvolvimento e a independência. A construção compartilhada deste modelo de avaliação da vulnerabilidade ajuda a elucidar no modelo as perguntas levantadas por Füssel (2005) e discutidos no Relatório do Desenvolvimento Humano de 2014 (PNUD, 2014).

- *Quem é vulnerável?*

A estrutura criada se dirige às populações do SMSF, com foco na vulnerabilidade em nível dos indivíduos, núcleos familiares e comunidades ao selecionar indicadores relevantes para essa escala. A análise da sensibilidade e da capacidade adaptativa respaldada pelos próprios indivíduos fortalece a especificidade da estrutura, ainda que as categorias analisadas sejam, de maneira geral, relacionadas a capacidades adaptativas amplas e fundamentais a quaisquer comunidades. As entrevistas deram prioridade a comunidades e povos tradicionais, indígenas, quilombolas, agricultores familiares, pescadores e indivíduos cujos modos de vida estão sujeitos às mudanças e são, portanto, *o quê* é vulnerável.

- *A quem são vulneráveis?*

O estudo está focado, de maneira ampla, nos efeitos das mudanças climáticas e seus impactos sobre as comunidades. O modelo respaldado pelas entrevistas com atores locais discutiu de forma mais específica a vulnerabilidade das populações às decisões sobre o uso e manejo dos recursos hídricos e energéticos nesse contexto. A relação das seguranças *nexus* com os recursos hídricos e seus impactos sobre a vulnerabilidade foi a questão central investigada. O processo de co-construção permitiu um melhor reconhecimento das relações e dinâmicas dos indivíduos com a estiagem e a escassez hídrica. Foi possível assim identificar o grau de exposição das populações e de seus modos de vida aos impactos causados pelas decisões sobre o uso e manejo dos recursos hídricos.

- *Por que são vulneráveis?*

Pergunta-chave no diagnóstico da vulnerabilidade, a resposta requer o entendimento dos fatores capazes de afetar os sistemas sociais vulneráveis. As relações encontradas nos modelos de regressão identificaram os fatores que mais afetam a vulnerabilidade (acesso à energia elétrica e a sistemas de irrigação, bem como a exposição à grande variabilidade do regime de chuvas) confirmam que a estrutura foi desenhada de maneira adequada para identificar os impactos aos quais os

indivíduos são vulneráveis: as dimensões do *nexus* água-energia-alimento nas decisões de uso e manejo dos recursos hídricos foram determinantes e capazes de explicar aproximadamente 47% das variações na vulnerabilidade.. A análise dos indicadores levantados permitiu também entender onde estão os elos mais fracos que afetam a vulnerabilidade: a capacidade de manutenção da geração de renda durante eventos climáticos extremos, o acesso a sistemas adequados de saneamento e esgoto e a contínua degradação do bioma da caatinga e seus ecossistemas.

A estrutura de indicadores cumpriu o papel a que se propôs de estabelecer as relações entre as seguranças hídrica, alimentar e energética com os indivíduos. Entretanto, ela falha em abordar com profundidade como os sistemas produtivos são afetados pelos mesmos fatores e como esses impactos se rebatem nos próprios indivíduos. Ainda que esse objetivo fuja ao escopo e propósito do estudo, ficou evidente a importância de se prosseguir com a análise, expandindo-a para um passo além da sobrevivência imediata do indivíduo.

As fragilidades das capacidades adaptativas relacionadas a estas dimensões foram também discutidas com os entrevistados, fornecendo poderosos *insights* para a construção coletiva de soluções e estratégias de adaptação no âmbito do PI SSA. Propostas e soluções foram levantadas por pesquisadores e entrevistados nos diálogos avaliados

Existem trade-offs evidentes na metodologia adotada. A medição da realidade por meio de indicadores e índices, por mais inclusivos que sejam os processos, deixam de lado importantes aspectos do contexto que são desconsiderados e traduzem o contexto em relações simples e incompletas. A estratégia é reducionista e possui falhas conhecidas, seja de maneira involuntária, pelas limitações de conhecimento e dificuldades de interpretação, seja de maneira voluntária, pela decisão de incluir ou não indicadores. Indicadores aos quais não se tem acesso ou que não são representativos de toda a região podem ser de extrema relevância a parcelas do público-alvo. Por outro lado, a simplicidade e disponibilidade dos dados permitem avaliações rápidas e uma compreensão do todo que pode permitir tomadas de decisão informadas por fatores que trarão mais eficiência às políticas e ações públicas coordenadas na governança dos recursos hídricos.

Os resultados concordaram com a literatura e diagnósticos realizados sobre a bacia em dois pontos fundamentais. Num primeiro, verificou-se que os planos e programas destinados à expansão das capacidades adaptativas na região estiveram mais voltados às capacidades sociais gerais, em torno da proteção dos sistemas humanos, e não tiveram o foco de preparar a região e os processos produtivos para riscos climáticos e desastres. Esses avanços tiveram o efeito de ‘blindar’ a população na última seca, mas foram insuficientes para que pudessem gozar do desenvolvimento do resto do

país. A segunda constatação diz respeito aos resultados dos modelos de regressão e das entrevistas, que sugerem que os maiores efeitos sobre a vulnerabilidade da região ainda pairam sobre as garantias de serviços básicos e essenciais, como o acesso à energia e à irrigação, ao esgotamento sanitário, à água de qualidade e alimentos seguros para consumo humano. Sem estas garantias essenciais, instrumentos de desenvolvimento terão poucos efeitos sobre os mais vulneráveis da região.

As aplicações e avaliações empíricas da modelagem de setores conforme o pensamento *nexus* ainda é um movimento que apenas recentemente tem ganhado força e projeção. A abordagem, no entanto, trouxe uma nova visão sobre sistemas socioecológicos com a capacidade de capturar os vínculos entre pobreza, exclusão e recursos naturais. Ao mesmo tempo, buscou promover a integração necessária para abordar as incongruências de valores na governança dos recursos comuns.

A expansão do escopo do estudo em trabalhos futuros poderia aumentar a relevância e trazer benefícios mais concretos às populações do SMSF. O melhor entendimento dos pontos de não-retorno capazes de provocar danos irreparáveis ao rio São Francisco, bem como dos processos de retroalimentação que regem as dinâmicas locais poderiam fornecer parâmetros de controle para modelagens mais precisas e sobretudo para o planejamento de intervenções que promovam a capacidade adaptativa. Caberia, ainda, aprofundar o conhecimento dos conflitos, das soluções e tecnologias apontadas pelos atores locais e os aspectos definidores da (in)segurança fundiária. As relações do uso e manejo de recursos hídricos com a saúde pública, seja pela salinização da água ou pelo uso indiscriminado de defensivos agrícolas poderiam apoiar definições políticas e a alocação de recursos.

Num momento em que o mundo teme o desabastecimento de serviços e produtos essenciais, talvez tenhamos muito a aprender com a resiliência dos povos que há muito enfrentam os desafios do semiárido. A pandemia afeta os sistemas de saúde, a economia, a tecnologia e a política, colocando à prova a capacidade adaptativa das sociedades em relação a grandes mudanças forçadas pela natureza – uma realidade enfrentada no SMSF que se agrava à medida que as mudanças do clima são aceleradas.

5.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Este estudo buscou entender não apenas a dimensão das necessidades humanas de saúde, segurança alimentar, segurança hídrica e energética, mas também dimensões intimamente interligadas como a saúde dos ecossistemas e as mudanças climáticas. No entanto, a (in)disponibilidade de dados limita o entendimento dos modos de vida, dos serviços ecossistêmicos

culturais e da manutenção de tradições. Dados como a transmissão do conhecimento tradicional, rituais, valor da paisagem, capital social, relações entre saúde humana, felicidade e saúde dos ecossistemas, por exemplo, exercem papel definidor na vulnerabilidade dos indivíduos e não estão facilmente disponíveis para que sejam incorporados às análises, por sua intangibilidade. Estas informações negligenciadas de forma não intencional recaem justamente sobre indivíduos mais vulneráveis, povos e comunidades tradicionais. Permanece, portanto, o desafio de não deixar ninguém para trás colocado pela Agenda 2030 do Desenvolvimento Sustentável (UN GENERAL ASSEMBLY, 2015) e enfraquece-se a perspectiva de alcance do objetivo de apoiar justamente a última milha, ou o ‘último bilhão de pessoas’.

Para as variáveis disponíveis, o tempo entre a ocorrência, coleta de dados e publicação dos fatos limita a visão completa dos impactos da longa estiagem que afetou a região até 2017. Assim, dados comparativos permitem a avaliação parcial nos períodos antecedentes e durante a seca, mas não proporcionam a visão completa dos impactos do fenômeno.

O uso de ferramentas estatísticas para as ciências sociais não escapa às limitações do método e da rigidez das interpretações. Decisões binárias e algoritmos determinísticos limitam a compreensão do contexto e reduzem a realidade a mecanismos lineares (ou não lineares) incapazes de incorporar as incertezas, especificidades e múltiplos ângulos.

A parte qualitativa do estudo se deu por meio da interpretação de entrevistas gravadas e transcritas por outros membros do grupo de pesquisa. A autora participou ativamente das etapas de planejamento, articulação com atores e lideranças, organização de seminários e workshops, seleção de participantes, levantamento de políticas públicas incidentes na região, etc., mas não esteve presente nas entrevistas. A interpretação dos textos está por isso sujeita ao entendimento da autora a partir de uma pequena parte da experiência adquirida pelo grupo de pesquisa em campo. Apesar de que as lideranças locais formam a maior parte dos entrevistados, existe um desequilíbrio entre o conhecimento e a capacidade de expressão entre os distintos grupos de interesse. Cuidou-se para que a voz dos grupos mais frágeis e daqueles com menor capacidade de expressão fossem igualmente incluídas nas análises. A percepção de outros membros da equipe presentes no campo foi com frequência consultada de modo a minimizar qualquer viés no entendimento.

6 APÊNDICES

6.1 APÊNDICE 1 - INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS: ROTEIRO DE ENTREVISTA

Introdução

As perguntas abaixo constituem um roteiro enxuto e amplo para guiar a entrevista. Assim, mais importante que as reproduzir literalmente, é compreender o objetivo subjacente (descrito a seguir) e, a partir dessa compreensão, explorar as perguntas e as respostas nesse intuito.

A ida a campo após a longa estiagem iniciada em 2012 fornece uma oportunidade científica rara de observar *in loco* os impactos e as respostas a um desastre natural que tende se tornar mais frequente e intenso nas próximas décadas. Assim, o roteiro é construído a partir da lógica impacto e resposta, perpassando cada uma das dimensões relevantes à segurança socioambiental: água, energia, alimento, trabalho, transporte, renda, moradia, ambiente. Caberá ao entrevistador a flexibilidade de adaptar o vocabulário e provocar, durante a entrevista, os pontos importantes, sem conduzir ou enviesar o tipo de resposta. Caberá à equipe, por sua vez, durante a fase de análise, interpretar as respostas dentro do arcabouço da vulnerabilidade.

Cabe destacar que uma versão semelhante de perguntas foi testada e amadurecida depois de entrevistas com mais de 30 atores durante as oficinas do MacroZEE da Bacia do São Francisco, realizada em setembro de 2017, no Ministério do Meio Ambiente, Brasília.

Roteiro

1. Sobre o vetor de exposição

- 1a) Quando começou e quanto tempo durou a última estiagem na região?
- 1b) O senhor/ a senhora já havia vivido uma estiagem semelhante a essa? Se sim, quando?

2. Sobre impactos e respostas (sensibilidades, capacidade adaptativa e adaptação)

2a) Com a estiagem, quais mudanças o senhor/a senhora observou em cada uma das seguintes dimensões (ver tabela abaixo)?

2b) E para cada um desses aspectos, que tipo de medidas/ações/iniciativas foram tomadas para diminuir as perdas ou lidar com os impactos (ver tabela abaixo)?

Tabela 6.1 - Dimensões para avaliação de impactos e respostas à estiagem

Aspectos	Mudanças	Respostas (medidas/ações/iniciativas/políticas)
Água		
Alimento		
Trabalho remunerado		
Trabalho doméstico		
Renda		
Família		
Transporte		
Energia		
Moradia		
Migração e mobilidade		
Ambiente		

Fonte: elaborado por Diego Lindoso para a Rede CLIMA (PI SSA, 2017b)

2c) O senhor/senhora reconhece contradições entre essas ações/medidas/iniciativas?Quais?

3. Para a categoria que o senhor/senhora representa, como a estiagem afetou as atividades e o que foi possível fazer para diminuir as perdas e lidar com os prejuízos?

4. Como as decisões do seu grupo são tomadas?

5. Há algo mais que o senhor/senhora gostaria de acrescentar e que nós não perguntamos ou você não mencionou ao longo da conversa?

6.2 APÊNDICE 2 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO E TERMO DE CESSÃO E AUTORIZAÇÃO DE USO E DIREITO DE IMAGEM

Pesquisa aprovada pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) em 01/11/2018.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado/a para participar da pesquisa "Projeto Integrativo Segurança Socioambiental, PI-SSA", sob a responsabilidade dos professores Saulo Rodrigues Filho e Marcel Bursztyn do Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, coordenadores da Sub-rede Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Regional da Rede *Clima*. Esta pesquisa objetiva produzir conhecimentos para subsidiar a (re)formulação e implementação de ações de interesse público para ampliar a *promoção da resiliência de sistemas socioambientais em um contexto de mudança climática*.

A coleta de dados será realizada por entrevista à tomadores de decisão e lideranças comunitárias da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. O roteiro consta de questões abertas e as respostas obtidas serão utilizadas *apenas no âmbito desta pesquisa* e ficarão sob a guarda dos professores responsáveis. Além disso, asseguramos o mais rigoroso sigilo, mediante a *omissão total de informações que permitam identifica-lo/a nominalmente, caso você opte pelo anonimato*.

A participação na pesquisa não implica em nenhum risco pessoal, pois não envolve testes de produtos medicamentosos ou químicos. Eventual risco que venha a decorrer da emissão de opiniões pessoais serão anulados pela preservação do anonimato, com omissão total de informações que permitam identificá-lo/a, conforme já informado no parágrafo anterior deste termo. Além disso, o uso de imagem e voz, que permitirá a identificação pessoal, será objeto de assinatura de termo de consentimento em separado, para garantir maior segurança, sendo utilizado somente aqueles que autorizarem expressamente, como consentimento adicional a este documento.

Sua participação é voluntária e livre de qualquer benefício. Assim, você é livre para recusar-se a participar, retirar seu consentimento ou interromper sua participação a qualquer momento, sem constrangimento. Além disso, garantimos aos participantes o acesso às análises dos dados pelo envio de artigos científicos, teses e dissertações resultantes desta pesquisa.

Em caso de dúvidas, você pode nos contatar pelo e-mail [REDACTED]. Informamos ainda que este projeto está sendo submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Ciências Humanas e Sociais da Universidade de Brasília - CEP/CHS (cep_chs@unb.br).

Por fim, este documento foi elaborado em duas vias, uma delas ficará sob a guarda do pesquisador responsável pela pesquisa e a outra com você.

[] Prefiro manter o anonimato

Autorizo a referência ao meu nome

[REDACTED] [REDACTED]

Assinatura do/a participante

Saulo Rodrigues Pereira Filho

Brasília, 9 de Novembro de 2018.

1ª Via

6.3 APÊNDICE 3 - DETALHAMENTO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA DO MODELO: METODOLOGIA DE OBTENÇÃO REALIZADOS PELA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Vazão de consumo de água para abastecimento humano – urbano e rural

As vazões de retirada, consumo e retorno para o abastecimento humano são calculadas conforme coeficientes que seguem especificidades locais, bem como as distintas demandas rural e urbana. Os dados foram calculados pelo corpo técnico da ANA a partir de coeficientes técnicos e estimativas populacionais (ANA, 2019).

Os coeficientes técnicos municipais levam em consideração o uso de água per capita nos ambientes rural e urbano. No ambiente rural, foram adotados dados da literatura para cada estado. Para os municípios da Bahia e de Pernambuco, especificamente, o coeficiente rural de consumo de água per capita adotado foi de 100 L/habitante x dia.

Os coeficientes urbanos foram obtidos da base de dados anuais inventariados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a partir do uso per capita e das perdas dos sistemas de distribuição. A Figura 6.1 sintetiza o método utilizado para o cálculo dos coeficientes e da vazão, explicados a seguir.

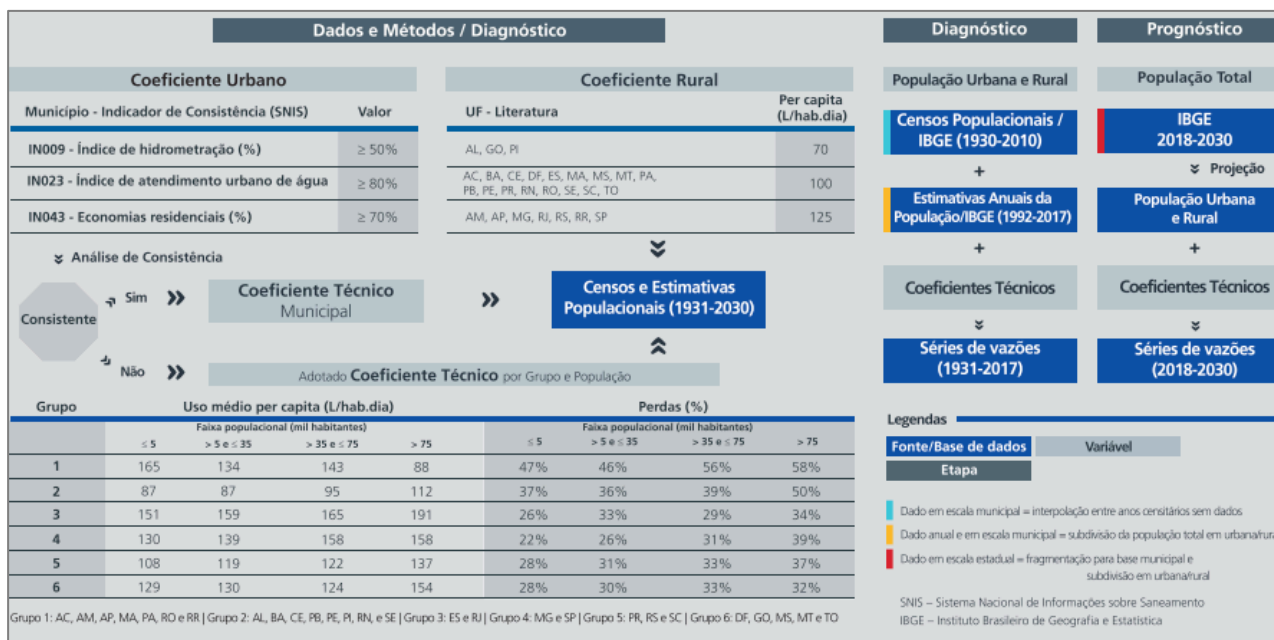


Figura 6.1 - Síntese do método das estimativas das vazões associadas ao consumo humano

Fonte: ANA (2019)

Os usos per capita são calculados pelos valores medidos que efetivamente chegam à população, a partir de dados informados pelas prestadoras de serviço, somados às estimativas da população cujo consumo não é medido por hidrômetros. As perdas consideram perdas físicas por vazamentos e perdas aparentes, como água utilizada não contabilizada por falhas de medição ou por ligações clandestinas. Três critérios conferem representatividade da amostra aos coeficientes em nível municipal: i) o índice de hidrometração no município deve ser superior a 50%, garantindo que mais valores são medidos que estimados; ii) o atendimento urbano à população deve ser maior que 80% para dar representatividade ao coeficiente; e iii) a participação das economias residenciais no total das economias de água deve estar acima de 70%, de modo que setores comerciais e pequenas indústrias não tenham influência dominante sobre o coeficiente municipal (ANA, 2019; SNIS, 2019). Os valores de uso e perdas são ainda validados em relação a sua consistência (o consumo deve estar entre 70 e 250 L / habitante x dia e perdas entre 10 e 65%). Para os municípios que não atendem tais critérios, o levantamento da ANA usou a estimativa de uso médio per capita de água do SNIS.

Os coeficientes de retirada, consumo e retorno foram calculados conforme as equações I, II e III abaixo, adotando o coeficiente de retorno C de 0,80 conforme a NBR 9649 da ABNT, medidos em metros cúbicos por segundo.

(IV)

$$Retirada_{per\ capita} = Uso_{per\ capita} \cdot (1 - Perda_{média})^{-1}$$

(V)

$$Consumo_{per\ capita} = Retirada_{per\ capita} \cdot (1 - C)$$

(VI)

$$Retorno_{per\ capita} = Retirada_{per\ capita} \cdot (C)$$

Vazão de consumo para a agricultura irrigada

O método usado pela ANA para estimativa do consumo de água se baseia em práticas comuns que utilizam a necessidade de água de cada tipo de cultura, o estágio de desenvolvimento da cultura e as características do local de cultivo. Para calcular o balanço hídrico, utilizou dados do clima, das culturas e dos sistemas de irrigação disponíveis (ANA, 2019).

As distintas culturas informam sobre a demanda de água em cada fase de desenvolvimento, mais especificamente sobre a evapotranspiração real no clima local. Combinadas com os dados de clima (precipitação total e evapotranspiração potencial de referência da região) e solo, calculou-se a disponibilidade hídrica do solo e a precipitação efetiva (que pode ser aproveitada pela planta). O

consumo pela irrigação foi então estimado para complementar o que as demais fontes proporcionam e assim atender à demanda de cada cultura. A esse cálculo aplicam-se coeficientes de eficiência de cada sistema de irrigação (ANA, 2019; ANA, 2017). A Figura 6.2 sintetiza o método utilizado para estimar o consumo de água destinado à irrigação.

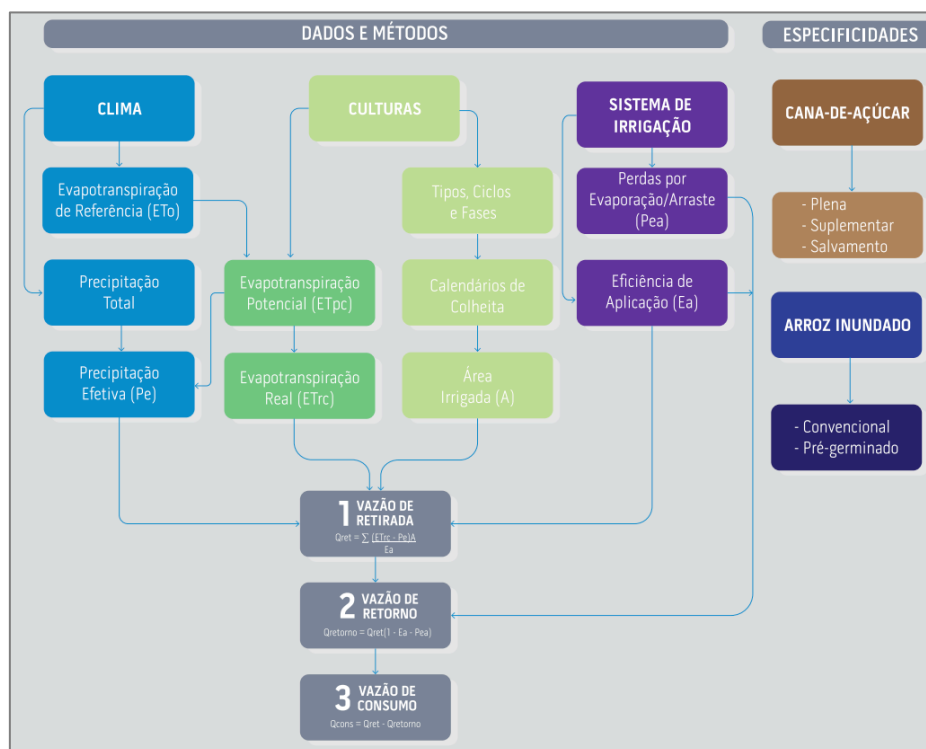


Figura 6.2 - Método para estimativa do consumo de água pela agricultura irrigada

Fonte: ANA (2019)

Os dados de precipitação mensal são provenientes do Banco de Dados de Precipitação Hidrológica (Hidro/ANA). As informações de evapotranspiração foram fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), enquanto as áreas irrigadas e eficiências de irrigação fazem parte do levantamento dos Censos Agropecuários do IBGE e do Atlas Irrigação (ANA, 2017; ANA, 2019). É importante ressaltar que grandes oscilações nos dados ao longo dos anos se deveram sobretudo às variações climáticas, fazendo com que os picos de demanda coincidisse justamente com os anos de maior escassez hídrica.

Os volumes de água retirado, consumido e de retorno para a irrigação foram calculados conforme cada cultura, calendário de plantio e município, segundo as equações (VII a (IX a seguir:

$$Volume_{retirada} = \sum_{culturas} \frac{(Evapotranspiração - Precipitação\ efetiva) \cdot Área\ irrigada \cdot Duração\ do\ ciclo\ da\ cultura}{Eficiência\ do\ sistema\ de\ irrigação} \quad (VII)$$

(VIII)

$$\begin{aligned} \text{Volume}_{\text{retorno}} = \sum_{\text{culturas}} \text{Volume}_{\text{retirada}} - (\text{Volume}_{\text{retirada}} \cdot \text{Perdas}_{\text{evaporação e arraste}}) \\ - (\text{Volume}_{\text{retirada}} \cdot \text{Eficiência do sistema de irrigação}) \end{aligned}$$

(IX)

$$\text{Volume}_{\text{consumo}} = \text{Volume}_{\text{retirada}} - \text{Volume}_{\text{retorno}}$$

6.4 APÊNDICE 4 – CÓDIGOS PARA ANÁLISE E TRATAMENTO DE DADOS DE INDICADORES

6.4.1 Tratamento de dados - Jupyter

4/28/2020

iVSEA final

Sistema de avaliação da vulnerabilidade conforme dimensões WEF Nexus no SMSF

Importar módulos e bibliotecas relevantes e úteis de bibliotecas python pré-instaladas / recursos online

In [1]:

```
import pandas as pd
import statsmodels
import statsmodels.api as sm
import statsmodels.graphics.api as smg
import matplotlib.pyplot as plt
import urllib.request
import seaborn as sns
import matplotlib
import numpy as np
import scipy.stats as stats
import csv
from sklearn.linear_model import LinearRegression
```

In [2]:

```
pd.options.display.max_rows = 700
```

Importação de dados coletados

In [3]:

```
excel_file = 'Dados SMSF 2008 a 2014_manual.xlsx'

DADOS2008 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=1, skiprows=[0,2], index_col=0,
na_values="NaN")
DADOS2009 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=2, skiprows=[0,2], index_col=0,
na_values="NaN")
DADOS2010 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=3, skiprows=[0,2], index_col=0,
na_values="NaN")
DADOS2011 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=4, skiprows=[0,2], index_col=0,
na_values="NaN")
DADOS2012 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=5, skiprows=[0,2], index_col=0,
na_values="NaN")
DADOS2013 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=6, skiprows=[0,2], index_col=0,
na_values="NaN")
DADOS2014 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=7, skiprows=[0,2], index_col=0,
na_values="NaN")

#importa planilhas de dados de vulnerabilidade coletados para os municípios do S
MSF por ano
```

In [5]:

```
excel_file = 'SMSF Usos Multiplos 2008 a 2014_numeric.xlsx'

RESERVATORIOS = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=0, skiprows=[0,1,2,4,5,6], index_col=0)
USOS2008 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=1, skiprows=[0,1,2,4,5], index_col=0)
USOS2009 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=2, skiprows=[0,1,2,4,5], index_col=0)
USOS2010 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=3, skiprows=[0,1,2,4,5], index_col=0)
USOS2011 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=4, skiprows=[0,1,2,4,5], index_col=0)
USOS2012 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=5, skiprows=[0,1,2,4,5], index_col=0)
USOS2013 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=6, skiprows=[0,1,2,4,5], index_col=0)
USOS2014 = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=7, skiprows=[0,1,2,4,5], index_col=0)

#importa planilhas de dados de usos múltiplos da água por municípios do SMSF por ano
```

In [6]:

```
df2008 = pd.merge(DADOS2008, USOS2008, how='outer', on='cod_ibge')
df2009 = pd.merge(DADOS2009, USOS2009, how='outer', on='cod_ibge')
df2010 = pd.merge(DADOS2010, USOS2010, how='outer', on='cod_ibge')
df2011 = pd.merge(DADOS2011, USOS2011, how='outer', on='cod_ibge')
df2012 = pd.merge(DADOS2012, USOS2012, how='outer', on='cod_ibge')
df2013 = pd.merge(DADOS2013, USOS2013, how='outer', on='cod_ibge')
df2014 = pd.merge(DADOS2014, USOS2014, how='outer', on='cod_ibge')
#cria banco de dados por ano com variáveis independentes e dependentes
```

In [8]:

```
df = pd.merge(df2008, df2009, how='outer')
```

In [9]:

```
df = pd.merge(df, df2010, how='outer')
```

In [10]:

```
df = pd.merge(df, df2011, how='outer')
```

In [11]:

```
df = pd.merge(df, df2012, how='outer')
```

In [12]:

```
df = pd.merge(df, df2013, how='outer')
```

In [13]:

```
df = pd.merge(df, df2014, how='outer')
```

Cálculos de normalização dos indicadores

Variáveis independentes

Usos múltiplos: consumo de energia elétrica, água para abastecimento humano e irrigação

Consumo

In [15]:

```
# define variáveis normalizadas de consumo para abastecimento humano urbano, abastecimento humano rural, irrigação,
# dessedentação de animais, indústria de transformação, mineração e consumo humano total.
df['ncons_hurb'] = (df['cons_hurb']/df['cons_total'])
df['ncons_hrur'] = (df['cons_hrur']/df['cons_total'])
df['ncons_irrig'] = (df['cons_irrig']/df['cons_total'])
df['ncons_anim'] = (df['cons_anim']/df['cons_total'])
df['ncons_ind'] = (df['cons_ind']/df['cons_total'])
df['ncons_min'] = (df['cons_min']/df['cons_total'])
df['cons_hum'] = (df['cons_hurb']+df['cons_hrur'])
df['ncons_hum'] = ((df['cons_hurb']+df['cons_hrur'])/df['cons_total'])
```

Variável dependente

Variável consolidada em Excel - já calculada e fornecida nos dados originais

In [17]:

```
df['ivSEA'] = (1-df['VSEA'])
```

In [50]:

```
df2 = df[['ibge', 'municipio_x', 'ano_ref', 'cons_hum', 'cons_irrig', 'consumo_energia', 'cons_total', 'precip_mm', 'cvprecip', 'varprecip', 'ncons_hurb', 'ncons_hrur', 'ncons_irrig', 'ncons_anim', 'ncons_ind', 'ncons_min', 'ncons_energia', 'ncons_hum', 'nprecip_mm', 'ncvprecip', 'nvarprecip', 'VSEA', 'ivSEA']]
#cria banco de dados simplificado para a regressão linear
```

In [52]:

```
df2 = df2.dropna()
#descarta observações inconsistentes/erros
```

In [53]:

```
df2['log10_hum']=np.log10(df2['ncons_hum'])
df2['log10_irrig']=np.log10(df2['ncons_irrig'])
df2['log10_energial']=np.log10(df2['ncons_energia']+1)
df2['log10_precip1']=np.log10(df2['nprecip_mm']+1)
df2['log10_cvprecip1']=np.log10(df2['ncvprecip']+1)
df2['log10_varprecip']=np.log10(df2['varprecip'])
df2['log10_vsea']=np.log10(df2['VSEA'])
df2['log10_ivsea']=np.log10(df2['iVSEA'])
#transformada logaritmica para obtenção de relações lineares
```

In [55]:

```
df2 = df2.dropna()
# Deletar dados inconsistentes, div/0 e erros
#df2 = df2.drop([10], axis=0)
```

In [58]:

```
df2.to_stata('dados_regressao_df2_precip.dta')
df2.to_excel('dados_regressao_df2_precip.xls')
#exporta dados transformados para regressão linear
```

In [59]:

df2.dtypes

Out[59]:

```
ibge                int64
municipio_x        object
ano_ref             int64
cons_hum            float64
cons_irrig          float64
consumo_energia    float64
cons_total          float64
precip_mm           float64
cvprecip            float64
varprecip           float64
ncons_hurb          float64
ncons_hrur          float64
ncons_irrig         float64
ncons_anim          float64
ncons_ind           float64
ncons_min           float64
ncons_energia       float64
ncons_hum           float64
nprecip_mm          float64
ncvprecip           float64
nvarprecip          float64
VSEA                float64
iVSEA               float64
log10_hum           float64
log10_irrig         float64
log10_energial     float64
log10_precip1      float64
log10_cvprecip1    float64
log10_varprecip    float64
log10_vsea         float64
log10_ivsea        float64
dtype: object
```

Análise de Regressão Linear Múltipla

In [73]:

```
X = df2[['log10_varprecip', 'log10_irrig', 'log10_energial']]
```

In [74]:

```
Y = df2[['log10_ivsea']]
```

In [75]:

```
lrmodel = LinearRegression()
lrmodel.fit(X,Y)
```

Out[75]:

```
LinearRegression(copy_X=True, fit_intercept=True, n_jobs=None, normalize=False)
```

In [76]:

```
print(lrmodel.coef_)
#coeficientes da regressão linear
```

```
[[ 0.02273404 -0.03659402 -1.20112239]]
```

In [77]:

```
lrmodel.score(X,Y)
#r quadrado da regressão linear
```

Out[77]:

```
0.4961056844944651
```

In [78]:

```
X = sm.add_constant(X)
model = sm.OLS(Y, X)
results = model.fit()
results.summary()
```

```
/opt/tljh/user/lib/python3.6/site-packages/numpy/core/fromnumeric.p
y:2495: FutureWarning: Method .ptp is deprecated and will be removed
in a future version. Use numpy.ptp instead.
return ptp(axis=axis, out=out, **kwargs)
```

Out[78]:

OLS Regression Results

Dep. Variable:	log10_ivsea	R-squared:	0.496
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.494
Method:	Least Squares	F-statistic:	205.4
Date:	Thu, 23 Apr 2020	Prob (F-statistic):	9.58e-93
Time:	01:25:54	Log-Likelihood:	903.26
No. Observations:	630	AIC:	-1799.
Df Residuals:	626	BIC:	-1781.
Df Model:	3		
Covariance Type:	nonrobust		

	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	-0.4885	0.014	-35.270	0.000	-0.516	-0.461
log10_varprecip	0.0227	0.004	5.385	0.000	0.014	0.031
log10_irrig	-0.0366	0.004	-8.781	0.000	-0.045	-0.028
log10_energia1	-1.2011	0.057	-20.962	0.000	-1.314	-1.089

Omnibus:	24.052	Durbin-Watson:	2.066
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	26.437
Skew:	-0.446	Prob(JB):	1.82e-06
Kurtosis:	3.460	Cond. No.	85.3

Warnings:

[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.

Verificação de condições para a Regressão Linear Multipla

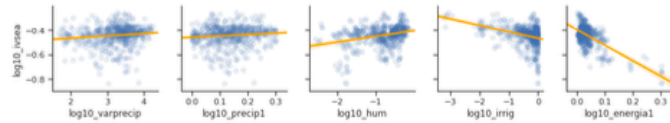
verificações realizadas pelo Stata, seguem apenas gráficos auxiliares

In [79]:

```
sns.pairplot(df2, x_vars=['log10_varprecip', 'log10_precip1', 'log10_hum', 'log10_irrig', 'log10_energia1'], y_vars='log10_ivsea', kind='reg', plot_kws={'line_kws': {'color': 'orange'}, 'scatter_kws': {'alpha': 0.1}})
```

Out[79]:

<seaborn.axisgrid.PairGrid at 0x7f770f436f60>



In [80]:

```
df3=df2[['log10_varprecip', 'log10_precip1', 'log10_hum', 'log10_irrig', 'log10_energia1', 'log10_ivsea']]
```

In [82]:

df3.corr()

Out[82]:

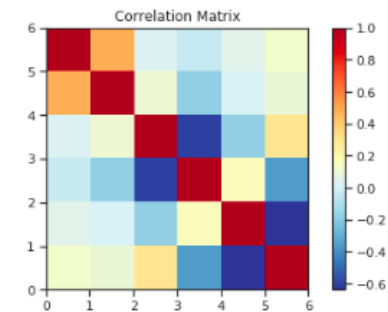
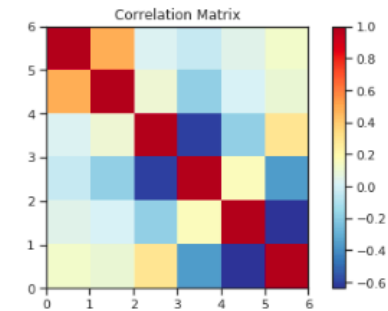
	log10_varprecip	log10_precip1	log10_hum	log10_irrig	log10_energia1	log10_ivsea
log10_varprecip	1.000000	0.482007	0.026808	-0.037556	0.056845	0.128360
log10_precip1	0.482007	1.000000	0.104325	-0.180303	0.020277	0.103500
log10_hum	0.026808	0.104325	1.000000	-0.605340	-0.183079	0.291616
log10_irrig	-0.037556	-0.180303	-0.605340	1.000000	0.166662	-0.359442
log10_energia1	0.056845	0.020277	-0.183079	0.166662	1.000000	-0.637848
log10_ivsea	0.128360	0.103500	0.291616	-0.359442	-0.637848	1.000000

In [83]:

```
statsmodels.graphics.correlation.plot_corr(df3.corr(), xnames=None, ynames=None, title=None, normcolor=False, ax=None, cmap='RdYlBu_r')
```

#Heatmap das correlações

Out[83]:



In [84]:

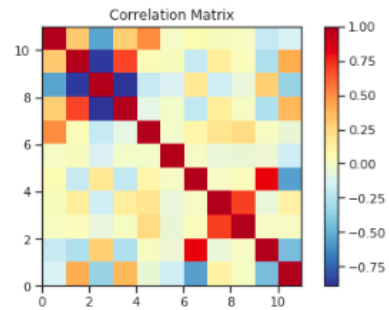
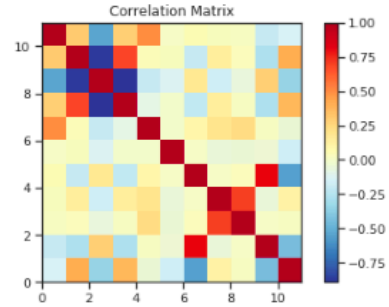
```
df4=df[['ncons_hurb', 'ncons_hrur', 'ncons_irrig', 'ncons_anim', 'ncons_ind', 'ncons_min', 'ncons_energia', 'nprecip_mm', 'nvarprecip', 'cons_total', 'ivSEA']]
```

In [85]:

```
statsmodels.graphics.correlation.plot_corr(df4.corr(), xnames=None, ynames=None,
title=None, normcolor=False, ax=None, cmap='RdYlBu_r')
```

```
#Heatmap das correlações com todas as variáveis
```

Out[85]:



In [86]:

```
df4.corr()
```

Out[86]:

	ncons_hurb	ncons_hrur	ncons_irrig	ncons_anim	ncons_ind	ncons_min	ncoi
ncons_hurb	1.000000	0.308216	-0.530210	0.292540	0.506244	0.009089	
ncons_hrur	0.308216	1.000000	-0.872073	0.683446	0.045131	0.025442	
ncons_irrig	-0.530210	-0.872073	1.000000	-0.892111	-0.194267	-0.117937	
ncons_anim	0.292540	0.683446	-0.892111	1.000000	-0.072592	-0.000275	
ncons_ind	0.506244	0.045131	-0.194267	-0.072592	1.000000	0.001095	
ncons_min	0.009089	0.025442	-0.117937	-0.000275	0.001095	1.000000	
ncons_energia	0.065485	-0.196456	0.177940	-0.208770	0.086104	0.009703	
nprecip_mm	0.026530	0.143474	-0.171030	0.152459	0.189839	-0.048621	
nvarprecip	0.018900	0.033840	-0.056037	0.021119	0.233461	-0.037936	
cons_total	-0.203427	-0.261754	0.297661	-0.269617	0.019768	-0.028666	
IVSEA	-0.138005	0.411901	-0.340115	0.375303	-0.041669	-0.169004	

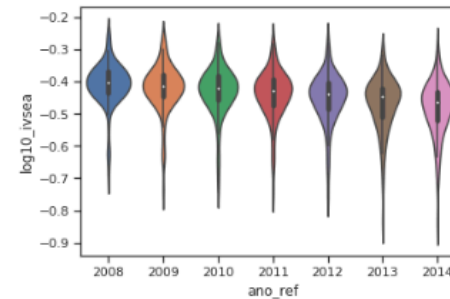
Análise de resultados

In [42]:

```
sns.violinplot(x="ano_ref", y="log10_ivsea",
data=df2)
```

Out[42]:

```
<matplotlib.axes._subplots.AxesSubplot at 0x7f770f92aef0>
```



6.4.2 Análise de Regressão Linear Múltipla – Do-file – Stata SE

do file log10_ivsea

22/04/20 00:08

```
1  pause on
2  di "Regressão Linear Múltipla"
3  egen [float] id=seq()
4  tsset id
5  sum log10_ivsea log10_hum log10_irrig log10_energia
6  regress log10_ivsea log10_hum log10_irrig log10_energia, beta
7  di "Verificação de premissas"
8  di "Premissa 3: Independência de observações"
9  estat dwatson
10 di "Premissa 4: Relação linear entre variáveis independentes e
    variável dependente, individual e coletivamente"
11 predict residuals, residuals
12 predict studentized, rstudent
13 predict yhat
14 predict standardized, rstandard
15 twoway (scatter studentized yhat) (lfit studentized yhat), play(
    tiny white)
16 di "Pausa. Digite end para despausar o programa"
17 pause
18 graph matrix log10_hum log10_irrig log10_energia log10_ivsea
19 pause
20 twoway (scatter log10_ivsea log10_hum) (lfit log10_ivsea
    log10_hum), play(tiny white)
21 di "Verificação da relação linear entre log10_hum e log10_ivsea "
22 pause
23 twoway (scatter log10_ivsea log10_irrig) (lfit log10_ivsea
    log10_irrig), play(tiny white)
24 di "Verificação da relação linear entre log10_irrig e
    log10_ivsea "
25 pause
26 twoway (scatter log10_ivsea log10_energia) (lfit log10_ivsea
    log10_energia), play(tiny white)
27 di "Verificação da relação linear entre log10_energia e
    log10_ivsea "
28 pause
29 di "Premissa 5: Homoscedasticidade"
30 twoway (scatter studentized yhat) (lfit studentized yhat), play(
    tiny white)
31 pause
32 rvfplot, yline(0) play(tiny white)
33 di "Premissa 6: Colinearidade múltipla"
34 pwcorr log10_hum log10_irrig log10_energia log10_ivsea, sig
35 vif
36 pause
37 di "Premissa 7: Ausência de dados discrepantes - outliers,
    leverage, influence"
38 sort studentized
39 list id municipio_x ano_ref studentized if studentized>3 |
    studentized<-3
40 gen touse2 = 1
41 replace touse2=0 if studentized>3
42 replace touse2=0 if studentized<-3
```

Page 1 of 2


```
43 predict lev, leverage
44 list id municipio_x ano_ref lev if abs(lev)>2
45 predict d, cooks
46 list id municipio_x ano_ref d if abs(d)>1
47 di "Reavaliar mudanças caso as três condições acima não sejam
    atendidas"
48 pause
49 di "Premissa 8: Normalidade"
50 histogram residuals, normal
51 pause
52 qnorm residuals, play(tiny white)
53 pause
54 pnorm standardized, play(tiny white)
55 gen tipo_ano="chuva"
56 replace tipo_ano="seco" if ano_ref>=2012
57 replace tipo_ano="seco" if ano_ref==2010
58
```

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, n. 16, p. 268-281, 2006.

ADGER, W. N. et al. Are there social limits to adaptation to climate change? **Climatic Change**, n. 93, p. 335-354, 2009. DOI 10.1007/s10584-008-9520-z.

AGÊNCIA BRASIL. Agência Brasil: Inpe vai monitorar desmatamento em mais quatro biomas. **Empresa Brasil de Comunicação**, 2019. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-11/inpe-vai-monitorar-desmatamento-em-mais-quatro-biomas>>. Acesso em: 06 mar. 2020.

ALEMU, D. S. **Dissertation completion guide: A chapter-by-chapter nontechnical guide for graduate research projects**. [S.l.]: Proficient Professionals Group, LLC, 2016.

ALLEN, J. P. **Technology and inequality: Concentrated wealth in a digital world**. San Francisco: Springer Nature, 2017.

ALLOUCHE, J.; MIDDLETON, C.; GYAWALI, D. Technical Veil, Hidden Politics: Interrogating the Power Linkages behind the Nexus. **Water Altern.**, v. 8, p. 610-626, 2015.

ALLOUCHE, J.; MIDDLETON, C.; GYAWALI, D. **The Water-Food-Energy Nexus: Power, Politics, and Justice**. Abingdon, Oxon; New York, NY: Routledge, 2019.

ANA. Vazão defluente do reservatório de Três Marias sobe para 500m³/s. **Agência Nacional de Águas - Notícias**, 2015. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/vazapso-defluente-do-reservata3rio-de-traas-marias.2019-03-15.9145499514>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

ANA. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Agência Nacional de Águas - Ministério do Meio Ambiente. Brasília, p. 86. 2017. (ISBN 978-85-8210-051-6).

ANA. São Francisco: sala de situação. **Agência Nacional de Águas**, 2018. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/sao-francisco/sao-francisco-saiba-mais>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

ANA. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Agência Nacional de Águas. Brasília, p. 75. 2019. (CDU 628.1(035)).

ANDERIES, J. M. et al. The topology of non-linear global carbon dynamics: from tipping points to planetary boundaries. **Environmental Research Letters**, v. 8, p. 13, December 2013. ISSN doi:10.1088/1748-9326/8/4/044048.

ANDERSON, P. M. L. et al. Regional Assessment of Africa. In: ELMQVIST, T., et al. **Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities**. A global assessment. Heidelberg: Springer, 2013. p. 453-459.

ARARAL, E. Ostrom, Hardin and the commons: A critical appreciation and a revisionist view. **Environmental Science and Policy**, v. 36, p. 11-23, 2014.

ARAUJO, M. et al. The socio-ecological Nexus+ approach used by the Brazilian Research Network on Global Climate Change. **Current Opinion on Environmental Sustainability**, v. 39, p. 62-70, set. 2019. ISSN <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.08.005>.

ASCOM ANA. Defluência mínima da barragem de Sobradinho (BA) subirá para média diária de 600m³/s. **Rede GN**, 2018. Disponível em: <https://www.redegn.com.br/?sessao=noticia&cod_noticia=101642>. Acesso em: 10 abr. 2020.

ASSÃO, T. Y. et al. Práticas e percepções acerca da segurança alimentar e nutricional entre os representantes das instituições integrantes de um centro de referência localizado na região do Butantã, município de São Paulo. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 16, n. 1, abr. 2007. ISSN <https://doi.org/10.1590/S0104-12902007000100010>.

AXELROD, R. The emergence of cooperation among egoists. **The American Political Science Review**, v. 75, n. 2, p. 306-318, 1981.

BAKKER, K.; MORINVILLE, C. The governance dimensions of water security: a review. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 371, p. 1-18, 2014.

BECK, U. Remapping social inequalities in an age of climate change: for a cosmopolitan renewal of sociology. **Global Networks**, v. 10, n. 2, p. 165-181, 2010.

BECK, U. Remapping social inequalities in an age of climate change: for a cosmopolitan renewal of sociology. **Global Networks**, v. 10, n. 2, p. 165-181, 2010.

BERARDY, A.; CHESTER, M. V. Climate change vulnerability in the food, energy, and water nexus: concerns for agricultural production in Arizona and its urban export supply. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 035004, p. 1-13, 2017. ISSN <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5e6d>.

BIRKMANN, J. **Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies**. Tokyo: United Nations University Press, 2006.

BIRKMANN, J. et al. Framing vulnerability, risk and societal responses: The MOVE framework. **Natural Hazards**, v. 67, p. 193-211, 2013.

BISUNG, E. **Tese de Doutorado: Social capital, collective action and access to water in rural Kenya**. University of Waterloo. Waterloo. 2015.

BOURDIEU, P. The forms of capital. In: RICHARDSON, J. G. **Handbook of theory and research for the sociology of education**. New York: Greenwood Press, 1986. p. 241-258.

BRANDT, P. et al. A review of transdisciplinary research in sustainability science. **Ecological Economics**, v. 92, p. 1-15, 2013.

BRAZIL; MOE. **Fifth National Report to the Convention on Biological Diversity**. Ministry of the Environment - Secretariat of Biodiversity and Forests. Brasília, p. 231. 2015.

BROOKS, N. et al. **Tracking adaptation and measuring development. IIED Climate Change Working Paper Series**. International Institute for Environment and Development (IIED). London, p. 36. 2011.

BROOKS, N.; ADGER, W. N.; KELLY, P. M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. **Global Environmental Change**, n. 15, p. 151–163, 2005.

BROWN, K.; WESTAWAY, E. Agency, capacity, and resilience to environmental change: Lessons from human development, well-being, and disasters. **The Annual Review of Environment and Resources**, v. 36, p. 321-342, 2011.

BUAINAM, A.; GARCIA, J. Pobreza rural e desenvolvimento do semiárido nordestino: Resistência, reprodução e transformação. In: MIRANDA, C.; TIBURCIO, B. **A nova cara da pobreza rural: desenvolvimento e a questão regional**. Série desenvolvimento rural sustentável. Brasília: [s.n.], 2013. p. 2017-285.

CAISAN. **II Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional - PLANSAN 2016-2019 REVISADO**. Camara Interministerial de Segurança Alimentar e Nutricional. Brasília, p. 92. 2018.

CAMPOS, J. N. B. **Projeto Áridas: Uma estratégia de desenvolvimento para o Nordeste - GT II Recursos Hídricos**. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Presidência da República. Brasília, p. 54. 1994. (711. 2: 63 : 504 (213. 505)).

CARDONA, O. D. et al. **Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge. 2012.

CARRINGTON, D. Why the Guardian is changing the language it uses about the environment | Environment | The Guardian, 2019. Disponível em: <www.theguardian.com/environment/2019/may/17/why-the-guardian-is-changing-the-language-it-uses-about-the-environment?utm_term=Autofeed&CMP=fb_gu&utm_medium=Social&utm_source=Facebook&fbclid=IwAR3v6EGvfLoEZLbtuVhIwBYyMdetHZZ7oRIS7mLrOtMQrA9ic1mWzNxM>. Acesso em: 26 maio 2019.

CASTELLS, M. **A Sociedade em Rede**. Tradução de Roneide Venancio Majer. São Paulo: Paz e Terra, v. 1, 2009.

CBHSF. **Usos múltiplos na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: Políticas e prioridades**. Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - AGB Peixe Vivo. Brasília, p. 64. 2013.

CEMADEN. Ameaças Naturais: seca. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**, 2016. Disponível em: <<https://www.cemaden.gov.br/secas/>>. Acesso em: 03 mar. 2020.

CHOU ET AL, S. C. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 438-454, 2014. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2014.35039>.

CI:GRASP. ci:grasp 2.0 - Impact Chains. **The Climate Impacts: Global and Regional Adaptation Support Platform**, sem data. Disponível em: <<http://www.pik-potsdam.de/cigrasp-2/ic/ic.html>>. Acesso em: 16 jun. 2016.

COOK, C.; BAKKER, K. Water security: Debating an emerging paradigm. **Global Environmental Change**, v. 22, p. 94-102, 2012.

COSTA, M. D. **O direito de acesso à energia: meio e pré-condição para o exercício do direito ao desenvolvimento e dos direitos humanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009.

CRESWELL, J. W. **Research design: Quantitative, qualitative and mixed methods approaches**. 4th Edition. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc, 2014.

DASANDI, N.; HUDSON, D.; PEGRAM, T. Perspectives on the post-2015 sustainable development agenda: Governance and institutions. In: WAAGE, J.; YAP, C. **Thinking beyond sectors for sustainable development**. London: Ubiquity Press, 2015. p. 63-76.

DATASUS. Sistema de Informação da Atenção Básica - Situação da Saúde. **Ministério da Saúde** - **DataSUS**, 2017. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?siab/cnv/SIABCbr.def>>. Acesso em: 03 nov. 2019.

DE CARVALHO, P. S. L.; MESQUITA, P. P. D.; ROCIO, M. A. R. A rota metalúrgica de produção de silício grau solar: uma oportunidade para a indústria brasileira? **BNDES Setorial: Metalurgia**, 2014. 205-234.

DEE, D. P. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Q.J.R. Meteorol. Soc.**, v. 137, p. 553–597, 2011. ISSN doi: 10.1002/qj.828.

DJALANTE, R.; THOMALLA, F. **Community Resilience To Natural Hazards And Climate Change Impacts: A Review Of Definitions And Operational Frameworks**. 5 th Annual International Workshop & Expo on Sumatra Tsunami Disaster & Recovery. 2010: [s.n.]. 2010. p. 164-178.

DRESDEN NEXUS CONFERENCE. **State of the Nexus Approach 2017: Multifunctional Land-Use Systems and Resource Management in Resilient Cities**. DNC2017 Conference Report. Dresden: United Nations University Institute for Integrated Management of Material Fluxes and of Resources (UNU-FLORES). 2017. p. 122.

DURAIAPPAH, A. K. et al. Managing the mismatches to provide ecosystem services for human well-being: a conceptual framework for understanding the New Commons. **Current Opinion on Environmental Sustainability**, v. 7, p. 94-100, 2014.

ECMWF. ERA Interim, Monthly Means of Daily Forecast Accumulations. **European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)**, 2019. Disponível em: <<https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-mdfa/levtype=sfc/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

EDMONDS, W. A.; KENNEDY, T. D. **An applied guide to research designs: quantitative, qualitative and mixed methods**. 2. ed. Los Angeles: SAGE, v. 1, 2017.

ELMQVIST, T. et al. **Managing Trade-offs in Ecosystem Services. Ecosystem Services Economics (ESE) Working Paper Series n. 4**. UNEP. Nairobi. 2011.

EPE. **Balanco Energético Nacional - Séries Históricas Completas**. Empresa de Pesquisa Energética - Ministério de Minas e Energia. Brasília. 2019. (<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>).

FÜSSEL, H. M. Vulnerability in Climate Change Research : A Comprehensive Conceptual Framework. **University of California International and Area Studies Breslauer Symposium**, p. 36, 2005.

FÜSSEL, H.-M. **Development and Climate Change: Review and Quantitative Analysis of Indices of Climate Change Exposure, Adaptive Capacity, Sensitivity and Impacts**. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK). Potsdam. 2009.

FÜSSEL, H.-M.; JOL, A.; LUNG, T. Introduction. In: AGENCY, E. E. **Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 An indicator-based report**. Copenhagen: EEA, 2019. p. 31-49.

FÜSSEL, H.-M.; KLEIN, R. Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. **Climatic Change**, v. 75, n. 3, p. 301-329, 2006.

FALKENMARK, M.; ROCKSTRÖM, J. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. **Journal of Water Resources Planning and Management**, p. 129-132, May/June 2006.

FAO. **Policy Brief: Food Security**. Food and Agriculture Organization. Roma, p. 4. 2006.

FAO. **The Water-Energy-Food Nexus A new approach in support of food security and sustainable agriculture**. Food and Agriculture Organization. Roma, p. 28. 2014.

FAO. Hunger Facts. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/zhc/hunger-facts/en/>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

FIRJAN. Índice Firjan de desenvolvimento municipal - IFDM - Downloads. **Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro**, 2020. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/ifdm/>>. Acesso em: 23 jan. 2020.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FUTURE EARTH. **Research and Engagement Plan for the Water-Energy-Food Knowledge-Action Network**. [S.l.]. 2018.

FUTURE EARTH. Knowledge-Action Networks: Water-Energy-Food Nexus. **Future Earth**, 2020. Disponível em: <<https://futureearth.org/networks/knowledge-action-networks/water-energy-food-nexus/>>. Acesso em: 23 abr. 2020.

GALDERISI, A. In: COLUCCI, A.; MAGONI, M.; MENONI, S. **Peri-Urban Areas and Food-Energy-Water Nexus**. [S.l.]: Springer International Publishing, 2017. p. 11-22.

GALLOPÍN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global Environmental Change**, n. 16, p. 293-303, 2006.

GERTEN, D. et al. Towards a revised planetary boundary for consumptive freshwater use: role of environmental flow requirements. **Current Opinion on Environmental Sustainability**, v. 5, n. 6, p. 551-558, nov. 2013. ISSN <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.001>.

GIDDENS, A. **A Política das Mudanças Climáticas**. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.

GIDDENS, A. **A Política das Mudanças Climáticas**. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.

GILLS, B.; MORGAN, J. Global Climate Emergency: after COP24, climate science, urgency, and the threat to humanity. **Globalizations**, set. 2019. ISSN <https://doi.org/10.1080/14747731.2019.1669915>.

GIRARDI, E. P. Agronegócio sucoenergético e desenvolvimento no Brasil. **Confins: revista franco-brasileira de geografia**, v. 40, 2019. ISSN <https://doi.org/10.4000/confins.19517>.

GIZ; ICLEI. **Operationalizing the urban NEXUS: Towards resource-efficient and integrated cities and metropolitan regions**. [S.l.]. 2014.

GREY, D. et al. Water security in one blue planet: Twenty-first century policy challenges for science. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, p. 1-10, 2013.

GREY, D.; SADOFF, C. W. Sink or Swim? Water security for growth and development. **Water Policy**, v. 9, p. 545-571, 2007.

GRIGGS, D. et al. Sustainable development goals for people and planet. **Nature**, 21 mar. 2013. 305-307.

GROTHMANN, T.; PATT, A. Adaptive capacity and human cognition: The process of individual adaptation to climate change. **Global Environmental Change**, v. 15, n. 3, p. 199-213, 2005.

HABTEZION, S. Gender and Adaptation. **Gender and Climate Change - Asia and the Pacific**, p. 1-5, 2013.

HARDIN, G. The Tragedy of the Commons. **Science**, v. 162, p. 1243-1248, 1968.

HOBSBAWM, E. J. **A Era das Revoluções: 1789-1848**. Tradução de MARIA TEREZA TEIXEIRA e MARCOS PENCHEL. 33ª. ed. São Paulo: Editora Paz e Terra, 2015.

HOFF, H. **Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus**. Stockholm Environment Institute (SEI). Stockholm. 2011.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, n. 1, p. 1-23, 1973.

HOLZER, J. M.; CARMON, N.; ORENSTEIN, D. E. A methodology for evaluating transdisciplinary research on coupled socio- ecological systems. **Ecological Indicators**, v. 85, p. 808-819, nov. 2018. ISSN <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.074>.

HUSSEY, K.; PITTOCK, J.; DOVERS, S. Justifying, extending and applying “nexus” thinking in the quest for sustainable development. In: PITTOCK, J.; HUSSEY, K.; DOVERS, S. **Climate, Energy and Water: Managing Trade-Offs, Seizing Opportunities**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2015.

IBGE. Censo Demográfico 2010 - Conceitos e métodos - Instrumentos de coleta. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**, 2010. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/instrumentos_de_coleta/doc3128.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2020.

IBGE. IBGE Cidades - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. **IBGE Cidades**, 2015. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

IBGE. SIDRA - Acervo. **Sistema IBGE de Recuperação Automática**, 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/N/6/A/Q>>. Acesso em: 26 jan. 2020.

ICSU. **A guide to SDG interactions: from science to implementation**. Paris. 2017.

INEP. Índice de Desenvolvimento da Educação Básica - IDEB - Resultados - Municípios. **Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - MEC**, 2020. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/web/guest/educacao-basica/ideb/resultados>>. Acesso em: 22 jan. 2020.

IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Resinger, A. (eds)]**. Geneva, Switzerland, p. 104. 2007.

IPCC. **Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge. 2013.

IPCC. Annex II: Glossary. In: CORE WRITING TEAM, R. K. P. L. A. M. (.). **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC, 2014. p. 117-130.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team R.K. Pachauri and L. A. Meyer (eds)]**. Geneva, Switzerland, p. 151. 2014.

IPCC. **Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to.** World Meteorological Organization. Geneva, p. 32. 2018.

IWA/IUCN/ICA. **Nexus trade-offs and strategies for addressing the water, agriculture and energy security nexus in Africa: Exective Summary.** The Infrastructure Consortium for Africa / International Union for Conservation of Nature / International Water Association. Geneva, p. 163. 2015.

JACQUES, P. J.; KNOX, C. C. Hurricanes and hegemony: A qualitative analysis of micro-level climate change denial discourses. **Environmental Politics**, v. 25, n. 6, p. 831-852, 2016.

JUPYTER TEAM. The Jupyter notebook. **Jupyter**, 2015. Disponivel em: <<https://jupyter-notebook.readthedocs.io/en/stable/notebook.html>>. Acesso em: jun. 2019.

KALININ, G. P.; SZESZTAY, K. **Surface waters as elements of the world water balance.** World water balance. Proc. Reading Symp 1970. Paris: IASH-Unesco, WMO. 1972. p. 102–115.

KELLY, P. M.; ADGER, W. N. Theory and Practice in Assessing Vulnerability to Climate Change and Facilitating Adaptation. **Climatic Change**, v. 47, n. 4, p. 325-352, 2000.

KLEIN, J. T. Evaluation of interdisciplinary and transdisciplinary research: A literature review. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 35, n. 2S, p. 116-123, 2008.

LAERD STATISTICS. Multiple regression using SPSS Statistics. Statistical tutorials and software guides. **Lard Statistics**, 2015. Disponivel em: <<https://statistics.laerd.com/>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

LANG, D. J. et al. Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles, and challenges. **Sustainability Science**, Tokyo, v. 07, n. Suppl. 1, p. 25-43, jul. 2012. ISSN DOI 10.1007/s11625-011-0149-x.

LAUTZE, J.; MANTHRITHILAKE, H. Water security: Old concepts, new package, what value? **Natural Resources Forum**, v. 36, p. 76-87, 2012.

LENTON, T. M.; WILLIAMS, H. T. P. On the origin of planetary-scale tipping points. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 28, n. 7, p. 3, July 2013.

LEUZINGER, G. **Segurança energética em países insulares: estudo de caso da interligação elétrica das ilhas de Cabo Verde - Dissertação de Mestrado.** Universidade de Brasília. Brasília, p. 188. 2019.

LIMA, D. A. G. C. Conta de luz consome 17% do salário mínimo do brasileiro. **Gazeta do Povo**, 15 Jun 2016.

LINDOSO, D. **Vulnerabilidade e Adaptação da Vida às Secas: desafios à sustentabilidade rural familiar nos semiáridos nordestinos (Vulnerability and Adaptation of life to droughts: challenges to rural sustainability in Brazilian Semiarid)**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 519. 2013.

LINDOSO, D. **Vulnerabilidade e Adaptação da Vida às Secas: desafios à sustentabilidade rural familiar nos semiáridos nordestinos**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 519. 2013.

LINDOSO, D.; RODRIGUES FILHO, S. Vulnerabilidade e adaptação. Bases teóricas e conceituais da pesquisa. (Vulnerability and adaptation. Research theoretical and conceptual bases). In: BURSZTYN, M.; ROSRIGUES FILHO, S. **O clima em transe: vulnerabilidade e adaptação da agricultura familiar (Climate into a trance: vulnerability and adaptation in family farming)**. 1. ed. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2016. p. 352.

LOPES, J. et al. The Contribution of Community- Based Recycling Cooperatives to a Cluster of SDGs in Semi-arid Brazilian Peri-urban Settlements. In: NHAMO, G.; ODULARU, G. O. A.; MJIMBA, V. **Scaling up SDGs Implementation: Emerging Cases from State, Development and Private Sectors**. Cham: Springer Nature, 2020. p. 141-154.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. Amazon Tipping Point. **Science Advances**, Washington, DC, v. 4, p. 1, February 2018.

MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 2, ago. 2018. ISSN <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>.

MARENGO, J.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-12, 09 jun. 2016. ISSN ISSN: 0177798X.

MARIANO, E. B. **Progresso e desenvolvimento humano [recurso eletrônico]: teorias e indicadores de riqueza, qualidade de vida, felicidade e desigualdade**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

MAYE, D.; KIRWAN, J. Food Security: a Fractured Consensus. **Journal of Rural Studies Special Issue: 'Food Security: Emerging Perspectives and Responses'**, v. 29, p. 1-6, jan. 2013. ISSN DOI: 10.1016/j.jrurstud.2012.12.001.

MCTI. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Sumário Executivo**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília, p. 45. 2016.

MESQUITA, P.; BURSZTYN, M. Alimentação e mudanças climáticas: percepções e o potencial de mudanças comportamentais em prol da mitigação. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 49, p. 1-16, dez. 2018. ISSN DOI: 10.5380/dma.v49i0.54835. e-ISSN 2176-9109 Alimentação.

MÄRKER, C.; VENGHAUS, S.; HAKE, J.-F. Contents lists available at ScienceDirect Renewable and Sustainable Energy Reviews journal homepage: www.elsevier.com/locate/rser Integrated governance for the food–energy–water nexus–The scope of action for institutional change. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 97, p. 290-300, set. 2018. ISSN <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.020>.

MILHORANCE, C. et al. O desafio da integração de políticas públicas para a adaptação às mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, n. 15, p. 165-185, maio 2019. ISSN ISSN: 2237-8642 / DOI: 10.5380/abclima.v24i0.56484.

MILHORANCE, C. et al. Unpacking the policy mix of adaptation to climate change in Brazil's semiarid region: enabling instruments and coordination mechanisms. **Climate Policy**, p. 1-16, abr. 2020. ISSN <https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1753640>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Cuidados com água para consumo humano. **Biblioteca Virtual em Saúde - Ministério da Saúde**, 2014. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/folder/cuidados_agua_consumo_humano_2014.pdf. Acesso em: 25 jan. 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Sistema de Informação de Atenção Básica (SIAB) - Situação de Saneamento - Brasil. **Tabulador de Dados para Ambiente da Internet - Tabnet - DataSUS**, 2016. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>. Acesso em: 16 nov. 2019.

MMA. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

MMA. Geoprocessamento - Download de dados - Bases cartográficas. **Ministério do Meio Ambiente - i3GEO**, 2017. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 20 mar. 2017.

MMA; COBRAPE-PROJETEC. **Atualização e complementação do diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: Relatório da análise integrada e crítica sobre a situação atual da BHSF.** Brasília. 2017.

MME. Programa Luz para Todos: informações sobre o programa, Brasília, 2015. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp>. Acesso em: 22 Jul 2016.

MOONEY, P. H.; HUNT, S. A. Food Security: The Elaboration of Contested Claims to a Consensus Frame. **Rural Sociology**, v. 74, n. 4, p. 469-497, jan. 2010. ISSN <https://doi.org/10.1111/j.1549-0831.2009.tb00701.x>.

NARULA, K.; REDDY, B. S. A SES (sustainable energy security) index for developing countries. **Energy**, v. 94, p. 326-343, 2016. ISSN <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.106>.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL; OSTROM, E. **The Drama of the Commons.** Washington: National Academy Press, 2002.

NELSON, V. **Climate change and gender: what role for agricultural research among smallholder farmers in Africa?** University of Greenwich. Cali, CO, p. 48. 2010.

NILSSON, M.; GRIGGS, D.; VISBECK, M. Map the interactions between Sustainable Development Goals. **Nature**, v. 534, p. 320-322, jun. 2016.

NOBRE, C. A.; BORMA, L. D. S. 'Tipping points' for the Amazon forest. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 28-36, October 2009.

NORRIS, F. H. et al. Community resilience as a metaphor, theory, set of capacities, and strategy for disaster readiness. **American Journal of Community Psychology**, v. 41, p. 127-150, 2008.

O'BRIEN, K. et al. **What's in a word? Conflicting interpretations of vulnerability in climate change research.** Center for International Climate and Environmental Research – Oslo. Oslo. 2004.

O'BRIEN, K. et al. Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. **Climate Policy**, v. 7, n. 1, p. 73–88, 2007.

OKI, T.; YANO, S.; HANASAKI, N. Economic aspects of virtual water trade. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 044002, p. 1-6, mar. 2017. ISSN <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa625f>.

OSTROM, E. Reformulating the Commons. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, p. 1-21, 2002.

OXFAM GB. **Climate Change and Gender Justice.** Oxford: Practical Action Publishing, 2009.

PACHAURI, R. K. et al. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team R.K. Pachauri and L. A. Meyer (eds)]**. Geneva, Switzerland, p. 151. 2014.

PARANHOS, R. et al. Uma introdução aos métodos mistos. **Sociologias**, Porto Alegre, v. 18, n. 42, p. 384-411, ago. 2016. ISSN <http://dx.doi.org/10.1590/15174522-018004221>.

PATON, D.; JOHNSTON, D. Disasters and communities: vulnerability, resilience and preparedness. **Disaster and Prevention Management**, v. 10, n. 4, p. 270-277, 2001.

PBMC. **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1**. Rio de Janeiro. 2013.

PBMC. **Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: COPPE - UFRJ, 2016. 116 p.

PEITER, G.; MALUF, R. S.; ROSA, T. D. S. **Mudanças climáticas, vulnerabilidades e adaptação: parte 1, mobilização e iniciativas de adaptação : parte 2, populações vulneráveis e agenda pública no Brasil**. COEP. Rio de Janeiro. 2011.

PELLING, M. **Adaptation to Climate Change: From resilience to transformation**. London and New York: Taylor & Francis Group, 2011.

PI SSA. **Sumário executivo do II workshop de planejamento e consolidação do plano de trabalho**. Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais - Rede CLIMA. Brasília, p. 27. 2017a.

PI SSA. **Documento orientador das pesquisas participativas de campo**. Rede Brasileira de Mudanças Climáticas Globais - Rede CLIMA. Brasília. 2017b.

PI-SSA. **Levantamento preliminar de políticas públicas e atores-chave na Bacia do Rio São Francisco: Quadro analítico preliminar de sua integração visando a adaptação as mudanças climáticas. Produto 1 - Internal Report**. Brasília. 2017.

PNUD. **Relatório do desenvolvimento humano 2014. Sustentar o progresso humano: reduzir as vulnerabilidades e reforçar a resiliência**. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Nova York, p. 246. 2014. (eISBN 978-92-1-056669-8).

PNUD; IPEA, FJP. Ranking | Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**, 2016. Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/ranking>. Acesso em: 15 abr. 2020.

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 4.1 da série anual de mapas de cobertura e uso do solo do Brasil. **Projeto Mapbiomas**, 2020. Disponível em: <<https://plataforma.mapbiomas.org/>>. Acesso em: 21 fev. 2020.

PUTNAM, R. D. **Comunidade e Democracia**: a experiência da Itália moderna. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.

RASUL, G.; SHARMA, B. The nexus approach to water–energy–food security: an option for adaptation to climate change. **Climate Policy**, v. 16, n. 6, p. 682-702, 2016.

RAWORTH, K. **Doughnut economics**: seven ways to think like a 21st century economist. White River Junction: Chelsea Green Publishing, 2017. 320 p.

REES, W. E. Are prosperity and sustainability compatible? In: WEBB, T.; NOVKOVIC, S. **Co-operatives in a post-growth era**: Creating co-operative economics. London: Zed Books Ltd, 2014. p. 320.

RIFKIN, J. **The Third Industrial Revolution**: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World. New York: Palgrave MacMillan, 2011.

RINGLER, C. E. A. The nexus across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency? **Current opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 6, p. pp. 617-624, 2013.

ROCKSTRÖM, J. et al. A safe operating space from humanity. **Nature**, n. 461, p. 472-475, 2009.

RODE, P. **Climate emergency and cities: An urban-led mobilisation? The climate decade's priorities for urban climate action, policy and research**. London School of Economics and Political Science. Londres, p. 12. 2019.

RODRIGUES-FILHO, S.; BURSZTYN, M.; SAITO, C. H. Mudanças climáticas e desenvolvimento regional. In: BURZTYN, M.; RODRIGUES-FILHO, S. **O clima em transe**: vulnerabilidade e adaptação da agricultura familiar. 1. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2016. p. 9-18.

SACHS, J. D. From Millennium Development Goals to Sustainable Development Goals. **The Lancet**, v. 379, n. 9832, p. 2206-2211, 2012.

SALIGNAC, F. et al. Conceptualizing and measuring financial resilience: A multidimensional framework. **Social Indicators Research**, p. 1-22, 2019.

SCHEFFER, M. et al. Catastrophic shifts in ecosystems. **Nature**, p. 591-596, 2001.

SCHELLNHUBER, H. J. (.). Tipping Elements in Earth System. **Special Feature PNAS** **106**, p. 20561-20621, 2009.

SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution**. 1st. ed. Cologny/Geneva: World Economic Forum, 2016.

SECRETARIA DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS. Secretaria de Governo da Presidência da República - Notícias. **Secretaria de Relações Institucionais**, mar. 2016. Disponível em: <<http://www.relacoesinstitucionais.gov.br/noticias/2016/marco/comissao-de-estatistica-aprova-230-indicadores-globais-para-monitorar-ods>>. Acesso em: 17 maio 2016.

SEYFFARTH, J. A. S.; RODRIGUES, V. Impactos da seca sobre a biodiversidade da Caatinga. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 44, p. 41-62, 2017.

SILVA, A. R. et al. Variações no Índice de Anomalia de Chuva no Semiárido. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 377-384, 2017.

SIMPSON, G. B.; JEWITT, G. P. W. The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, n. 8, fev. 2019.

SNIS. SNIS - Série Histórica Municípios. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - Ministério do Desenvolvimento Regional**, 2019. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: 30 out. 2019.

SOLANES, M.; GONZALEZ-VILLARREAL, F. **The Dublin principles for water as reflected in a comparative assessment of institutional and legal arrangements for integrated water resources management**. Stockholm. 1999.

SOVACOOOL, B. K. Differing cultures of energy security: An international comparison of public perceptions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 811-822, 2016. ISSN DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.144.

SOVACOOOL, B. K.; BROWN, M. A. Competing Dimensions of Energy Security: An International Perspective. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 35, p. 77-108, 2010. ISSN 10.1146/annurev-environ-042509-143035.

STEFFEN, W. “Tipping Points in the Earth System”. **Sleeping Financial Giants in Tokyo**, 05 mar. 2019. Disponível em: <<https://sleepinggiants.earth/publication/sleeping-financial-giants-in-tokyo/>>. Acesso em: mar. 2020.

STEFFEN, W. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, 13 fev. 2015. 1259855-1-10.

STEFFEN, W. et al. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Cambridge, MA, v. 115, n. 33, p. 8252-8259, ago. 2018. ISSN <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>.

STEFFEN, W.; ELIOTT, S. **Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure**. Stockholm. 2004.

STIRLING, A. **Developing ‘nexus capabilities’: Towards transdisciplinary methodologies**. Sussex. 2015.

STOCKER, T. F. et al. IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: **IPCC Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 29.

SWANBOROUGH, J. 6 things we learned about the environment at Davos 2019. **World Economic Forum - Agenda**, 2019. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2019/01/the-environment-was-high-on-the-agenda-in-davos-but-what-actually-happened/>>. Acesso em: 06 mar. 2020.

TEDDLIE, C.; TASHAKKORI, A. **Foundations of mixed methods research: Integrating quantitative and qualitative approaches in the social and behavioral sciences**. Thousand Oaks: SAGE, 2009.

The Dublin statement on water and sustainable development. Dublin. 1992.

TIGRE, P. B. Paradigmas tecnológicos. **Estudos em Comércio Exterior**, v. 1, n. 2, 1997.

UCLA IDRE. Web Book: Regression with Stata - Chapter 2 - Regression Diagnostics. **UCLA Institute for Digital Research and Education Statistical Consulting Group**, 2019. Disponível em: <<https://stats.idre.ucla.edu/stata/webbooks/reg/chapter2/stata-webbooksregressionwith-statachapter-2-regression-diagnostics/>>. Acesso em: 21 jun. 2019.

UN GENERAL ASSEMBLY. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. United Nations. New York, p. 1-35. 2015. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015.

UN SDSN. **SDG Guide - Chapter 3: Tools for designing SDG strategies and roadmaps**. **SDG Guide**, 14 dez. 2015. Disponível em: <<https://sdg.guide/chapter-3-tools-for-designing-sdg-strategies-and-roadmaps-a8172680d5ef>>. Acesso em: mar. 2019.

UNEP. **Feed-in tariffs as a policy instrument for promoting renewable energies and green economies in developing countries**. United Nations Environmental Program. [S.l.], p. 122. 2012.

UNFCCC. **United Nations Framework Convention on Climate Change**. United Nations. Rio de Janeiro. 1992.

UNFCCC. Climate - Get the Big Picture. **United Nations Framework on Climate Change Interactive Guide**, 2016. Disponível em: <<http://bigpicture.unfccc.int/#content-the-paris-agreemen>>. Acesso em: 21 jun. 2016.

UNISDR. **2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction**. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. Geneva. 2009.

UNISDR. **Sendai Framework for Risk Reduction 2015-2030**. United Nations International Strategy for Disaster Risk Reduction. Sendai. 2015.

UNITED NATIONS. **United Nations Conference on Environment and Development - Agenda 21**. United Nations Secretariat. Rio de Janeiro. 1992.

UNITED NATIONS. **Paris Agreements**. United Nations Framework Convention on Climate Change, COP 21. Paris: United Nations. 2015. p. 27.

UNITED NATIONS. **The Millenium Development Goals Report**. United Nations Secretariat. New York, p. 75. 2015.

UNITED NATIONS. Zero Hunger - Facts and Figures. **UN Sustainable Development Goals**, 2020. Disponível em: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/hunger/>>. Acesso em: 22 abr. 2020.

UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY. **Report of the United Nations conference on environment and development A/CONF.151/26 (Vol. IV)**. Rio de Janeiro. 1992.

UNSTATS. Millenium Development Goals Indicators - Statistical Annex: World and regional trends. **The official United Nations site for the MDG Indicators**, 23 jul. 2015. Disponível em: <<http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Host.aspx?Content=Data/Trends.htm>>. Acesso em: 24 maio 2016.

UNSTATS. United Nations Statistical Commission - 47th Session (2016) - Chairs of past sessions. **United Nations Statistics Division**, 08 mar. 2016. Disponível em: <<http://unstats.un.org/unsd/statcom/47th-session/>>. Acesso em: 24 maio 2016.

UN-WOMEN; UN DESA; UNFCCC. **Implementation of gender responsive climate action in the context of sustainable development - Report of the Expert Group Meeting**. United Nations Climate Change Secretariat. Bonn. 2015.

VÖRÖSMARTY, C. et al. Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v. 467, n. 7315, p. 555-561, 2010.

VALOIS COELHO, I. M.; CARTAXO, E. F. **Universalização da energia elétrica: uma análise política da distribuição de energia e da sua importância sócio-ambiental para o Amazonas. 5º ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL.** Campinas: [s.n.]. 2004.

VAN BEEK, E.; ARRIENS, W. L. **Towards water security: Framework for Action.** Sweden and London. 2000.

VOGT, W. P.; GARDNER, D. C.; HAEFFELE, L. M. **When to use what research design.** New York: The Guilford Press, v. 1, 2012.

VON BRAUN, J.; MIRZABAEV, A. Nexus Scientific Research: Theory and approach serving sustainable development. In: DODDS, F.; BARTRAM, J. **The Water, Food, Energy and Climate Nexus: Challenge and an agenda for action.** London, New York: Routledge, 2016. p. 58-71.

VOOSEN, P. New climate models predict a warming surge. **Science Magazine**, 16 abr. 2019.

WALKER, B. et al. Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. **Ecology and Society**, v. 9, n. 2, 2004.

WEF. **The Global Risks Report 2020.** World Economic Forum. Davos, p. 94. 2020.

WORLD BANK. **Poverty and hunger: issues and options for food security in developing countries.** The World Bank. Washington, DC, p. 82. 1986. (ISBN 0-8213-0678-2).

WORLD FOOD SUMMIT. **Rome Declaration on World Food Security.** Food and Agriculture Organization. Rome. 1966.

ZELLHUBER, A.; SIQUEIRA, R. Rio São Francisco em descaminho: Degradação e revitalização. **Cadernos do CEAS: Revista crítica de humanidades**, v. 0, n. 227, p. 3-24, 2016.