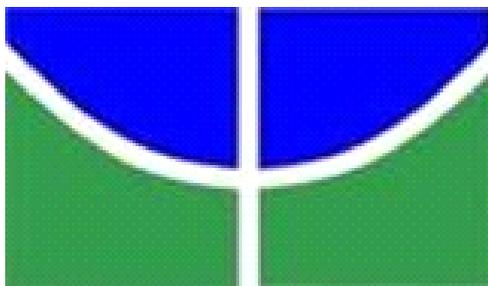


UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**FERTILIDADE E DINÂMICA DO FÓSFORO EM ANTROPOSSOLOS
DECAPÍTICOS RECONSTRUÍDOS COM LODO DE ESGOTO NO
DISTRITO FEDERAL, BRASIL.**

Winnie Oku Oliveira Edward

**BRASÍLIA - DF
DEZEMBRO/2020**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**FERTILIDADE E DINÂMICA DO FÓSFORO EM ANTROPOSSOLOS
DECAPÍTICOS RECONSTRUÍDOS COM LODO DE ESGOTO NO
DISTRITO FEDERAL, BRASIL.**

Winnie Oku Oliveira Edward

Dissertação apresentada ao Programa de pós-graduação em Ciências Florestais do Departamento de Engenharia Floresta da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

BRASÍLIA - DF
DEZEMBRO/2020

**FERTILIDADE E DINÂMICA DO FÓSFORO EM ANTROPOSSOLOS
DECAPÍTICOS RECONSTRUÍDOS COM LODO DE ESGOTO NO
DISTRITO FEDERAL, BRASIL.**

Winnie Oku Oliveira Edward

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS FLORESTAIS.

BANCA EXAMINADORA:

AGRADECIMENTOS

Dedico esta escrita primeiramente aos meus pais e irmão, sempre presentes e amorosos e, sem os quais não estaria onde estou. Há também um agradecimento à todas as circunstâncias, animais, ancestrais e guardiões, que me permitiram hoje simplesmente sonhar e existir. Aos meus queridos amigos, divertidos e conselheiros, os quais dividem suas respectivas presenças aconchegantes, criativas, imaginárias, sonhadoras e concretas fica a minha gratidão. À título de registro, alguns nomes: Victória, Paulo, Linda, Samuel, Ana Carla, Natanna, Amandinha, Geovana, Marcel, Felipe, Vitão, Grazi, Tiago, Nick e Hilary.

Defender uma dissertação diante de uma inesperada sindemia me faz reconhecer ainda mais o trabalho, atenção e notória dedicação que alguns profissionais desempenharam em seus ofícios, extrapolando suas atividades oficiais e demonstrando presença em suas ações. Deste modo, fica minha inteira gratidão aos dedicados professores Cássia Munhoz, Ricardo Gaspar, Eraldo Matricardi, Eduardo Monteiro e José Vicente Bernardi.

Agradeço ao professor Rodrigo Studart Corrêa, por guiar o início e compartilhar os dados básicos ao desenvolvimento do presente trabalho. Adiciono também um obrigada ao professor Ildeu Soares.

Finalmente, agradeço ao suporte financeiro promovido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq.

Este trabalho é fruto da minha conexão e gratidão à terra.

“Quando a educação não é libertadora, o sonho do oprimido é ser o opressor”

Paulo Freire

RESUMO

A presença de áreas degradadas ao longo do globo possui distintas origens, variando segundo a região. Deste modo, os últimos grandes remanescentes de áreas vegetais contínuas em regiões tropicais sofrem pressões com características variadas, de acordo com as particularidades locais. No caso do Brasil, as maiores extensões degradadas provêm de atividades industriais, sejam estas agrícolas, agrosilvipastoris ou de mineração. No caso da mineração, apesar de representar danos com menores extensões, a degradação provocada por este tipo de atividade é mais aguda que àquelas citadas anteriormente, podendo apresentar como resultado inerente às suas respectivas atividades a remoção total da vegetação, toxidez por metais pesados, poluição, remoção da camada fértil do solo e degradação total da paisagem. A remoção da vegetação e do solo são premissas para o estabelecimento da mineração e, quando se fala em degradação do solo, fala-se também da perturbação do maior estoque de carbono na superfície terrestre. Aliam-se aos fatores citados os prejuízos econômicos e sociais advindos da existência de áreas degradadas e a histórica posição do Brasil frente a condução e elaboração de acordos internacionais em prol da conservação e recuperação de áreas degradadas no mundo. O não cumprimento de acordos e a não solução de problemáticas ambientais acarretam em prejuízos econômicos e sociais, sejam estes promovidos pela quebra de acordos ou pela incapacidade de geração de geração e distribuição de renda dentro do país. Considerando o exposto, o lodo de esgoto se apresenta enquanto uma alternativa na recuperação de solos degradados, visto sua capacidade em fornecer nutrientes. Ressaltando a importância da recuperação de áreas degradadas, o presente trabalho objetivou: i) a avaliação da fertilidade e dinâmica do fósforo em Antropossolos Decapílicos reconstruídos com lodo de esgoto; ii) verificar a qualidade geral de solos recuperados a partir da aplicação de lodo de esgoto em áreas degradadas pela mineração no Distrito Federal, as quais receberam doses variadas de lodo em cinco anos distintos; iii) verificar o efeito do tempo sobre a variabilidade de fósforo remanescente e disponível, em áreas distintas sob tratamentos distintos; iv) evidenciar os efeitos do sulfato de alumínio na disponibilidade de fósforo em Latossolos e Cambissolos e; v) contribuir com o estabelecimento de diretrizes científicas para a implementação técnica de um método de recuperação de áreas degradadas no Cerrado brasileiro. Foi possível constatar que :i) apesar de não promover sempre um comportamento uniforme, o lodo de esgoto promoveu a elevação generalizada de parâmetros indicadores de fertilidade; ii) as frações de fósforo analisadas sofreram alterações significativas ao longo do tempo, com destaque para a elevação do fósforo total; iii) O fósforo remanescente e o disponível se mostraram pouco correlacionados, onde a fração de fósforo disponível foi mais influenciada pelo pH e Ca do solo e; iv) O sulfato de alumínio não impediu a elevação de fósforo total no solo, onde a disponibilidade do elemento demonstrou um comportamento típico, com o avanço da retenção do fósforo à medida em que o tempo transcorreu.

ABSTRACT

The presence of degraded areas across the globe has different origins, varying by region. In this way, the last large remnants of continuous plant areas in tropical regions suffer pressures with varied characteristics, according to local particularities. The Brazilian situation shows that its largest degraded areas come from industrial activities, whether agricultural, agrosilvipastoral or mining. In the case of mining, despite representing damage to a lesser extent, the degradation caused by this type of activity is more acute than those previously mentioned, and may result in the inherent result of its respective activities: total removal of vegetation, toxicity by heavy metals, pollution, removal of the fertile soil layer and total degradation of the landscape. The removal of vegetation and soil are premises for the establishment of mining and, when talking about soil degradation, we talk about the disturbance of the largest carbon stock on the earth's surface. The economic and social losses arising from the existence of degraded areas and the historical position of Brazil in relation to the conduction and elaboration of international agreements in favor of the conservation and recovery of degraded areas in the world are allied to the factors mentioned. Failure to comply with agreements and failure to solve environmental problems leads to economic and social losses, whether these are caused by the breach of agreement or the inability to generate income generation and distribution within the country. Considering the above, sewage sludge presents itself as an alternative in the recovery of degraded soils, given its capacity to supply nutrients. Emphasizing the importance of recovering degraded areas, this study aimed to: i) Evaluate the changes of phosphorus fertility and dynamics in Decapitic Anthrosoles reconstructed with sewage sludge; ii) verify the general quality of soils recovered from the application of sewage sludge in areas degraded by mining in the Federal District, which received varying doses of sludge in five different years; iii) verify the effect of time on the variability of remaining and available phosphorus, in different areas under different treatments; iv) evidence the effects of aluminum sulfate on the availability of phosphorus in Oxisols and Cambisols and; v) contribute to the establishment of scientific guidelines for the technical implementation of a method for the recovery of degraded areas in the Brazilian Cerrado. It was possible to verify that: i) in spite of not always promoting a uniform behavior, the sewage sludge promoted a general increase in parameters that indicate fertility; ii) the phosphorus fractions analyzed underwent significant changes over time, with emphasis on the increase in total phosphorus; iii) The remaining phosphorus and the available phosphorus showed little correlation, where the fraction of available phosphorus was more influenced by the pH and Ca of the soil and; iv) Aluminum sulfate did not prevent the increase of total phosphorus in the soil, where the availability of the element demonstrated a typical behavior, with the progression of phosphorus retention as time passed.

SUMÁRIO

Lista de figuras	10
Lista de tabelas	12
1. INTRODUÇÃO	14
Áreas degradadas	14
Áreas degradadas mineradas	18
Recuperação de áreas degradadas mineradas com uso do lodo de esgoto	22
Fósforo no solo, no lodo e a recuperação de solos degradados	26
2. MATERIAIS E MÉTODOS	33
2.1 Áreas de estudo	33
2.2 Caracterização das áreas e solos de estudo	33
2.3 DESENHO EXPERIMENTAL E AMOSTRAGEM DOS SOLOS	36
2.4	39
Análises do solo	39
2.5 Análises de dados	39
2.5.1 Verificação da qualidade geral de solos recuperados a partir da aplicação de lodo de esgoto	39
2.5.2 Verificação da variabilidade de fósforo remanescente e disponível ao longo do tempo, nas áreas distintas	40
3. RESULTADOS	41
3.1 Verificação da qualidade geral de solos recuperados a partir da aplicação de lodo de esgoto	41
3.2 Verificação da variabilidade de fósforo remanescente e disponível ao longo do tempo e em áreas distintas	55
4. DISCUSSÃO	68
4.1 Verificação da qualidade geral de solos recuperados a partir da aplicação de lodo de esgoto	68
4.2 Verificação da variabilidade de fósforo remanescente e fósforo disponível ao longo do tempo e em áreas distintas	73

5. CONCLUSÕES.....	76
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
ANEXO I – Resultados <i>Tukey HSD Test</i> , probabilidades aproximadas para testes <i>Post Hoc</i> para todas as variáveis coletadas.....	89
ANEXO II – Resultados <i>Tukey HSD Test</i> , probabilidades aproximadas para testes <i>Post Hoc</i> para as variáveis selecionadas após a Análise dos componentes principais (PCA).	111

Lista de figuras

Figura 1. Vegetação testemunha em área minerada, tratada com lodo de esgoto e revegetada após o tratamento. Fonte: Adaptado de Lima (2019).	35
Figura 2. Vegetação testemunha em área minerada, tratada com lodo de esgoto e revegetada após o tratamento. Fonte: Adaptado de Lima (2019).	35
Figura 4. Variação do pH em CaCl_2 entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).	46
Figura 5. Variação dos teores de matéria orgânica entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).	47
Figura 6. Variação dos teores de fósforo total entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).	49
Figura 7. Variação dos teores de nitrogênio entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).	50
Figura 9. Variação dos teores de enxofre entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).	52
Figura 10. Variação dos teores de cálcio entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).	53
Figura 11. Variação dos teores de magnésio entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).	54
Figura 12. Variação da Capacidade de Troca Catiônica entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).	55
Figura 13. Análise dos componentes principais nas áreas de estudo correspondentes aos tratamentos com lodo de esgoto nos solos em 1997, 2002, 2008, 2011 e 2015. O gráfico demonstra o pouco poder de explicação dos elementos com as menores retas projetadas, além da redundância entre àquelas muito próximas.	56
Figura 14. Variação do pH em CaCl_2 entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).	59
Figura 15. Variação dos teores de fósforo remanescente entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).	60
Figura 16. Variação dos teores de fósforo disponível entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).	61
Figura 17. Variação dos teores de fósforo total entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo). ...	62

Figura 18. Variação dos teores de cálcio entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo). ...	63
Figura 19. Variação dos teores de magnésio entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo). ...	64
Figura 20. Variação dos teores de ferro entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado sensu stricto (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo). ...	65
Figura 21. Análise de Redundância evidenciando os parâmetros que mais se comportam enquanto preditoras do P disponível e total. Dentro das variáveis selecionadas, aquelas com maior capacidade preditora foram o pH e o Cálcio.....	67
Figura 22. Análise de Redundância evidenciando os parâmetros que mais se comportam enquanto preditoras do P disponível e total. Dentro das variáveis selecionadas, aquelas com maior capacidade preditora foram o pH e o P disponível.	68

Lista de tabelas

Tabela 1 Características gerais das áreas tratadas com lodo de esgoto.....	38
Tabela 2 Valores médios dos parâmetros químicos analisados para os tratamentos solo de Cerrado sensu stricto, solo revegetado com lodo de esgoto e substrato exposto.	42
Tabela 3 Teste multivariado de significância (Anova aninhada) Over-parameterized model Type III decomposition.....	44
Tabela 4 Resultados da ANOVA univariada para cada parâmetro químico. Over parameterized model; Type III decomposition.....	45
Tabela 5. Teste multivariado de significância (Anova aninhada) Over-parameterized model Type III decomposition.....	57
Tabela 6 Resultados da ANOVA univariada para os parâmetros químicos selecionados. Over parameterized model; Type III decomposition.	58
Tabela 7 Tukey HSD test, variável pH em água; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000".....	90
Tabela 8 Tukey HSD test, variável pH em CaCl ₂ ; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000".....	91
Tabela 9 Tukey HSD test, variável M.O; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	92
Tabela 10 Tukey HSD test, variável P- disp ; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	93
Tabela 11 Tukey HSD test, variável P – reman ; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	94
Tabela 12 Tukey HSD test, variável P - total; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	95
Tabela 13 Tukey HSD test, variável K(mg/dm ³); Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc; Graus de liberdade = 30,000.....	96
Tabela 14 Tukey HSD test, variável K (cmol) ; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	97
Tabela 15 Tukey HSD test, variável S; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc; Graus de liberdade = 30,000.....	98
Tabela 16 Tukey HSD test, variável Ca; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	99
Tabela 17 Tukey HSD test, variável Magnésio; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade 30,000.....	100
Tabela 18 Tukey HSD test, variável Al; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc; Graus de liberdade = 30,000.....	101
Tabela 19 Tukey HSD test, variável Acidez Potencial; ; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	102
Tabela 20 Tukey HSD test, variável CTC; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc; Graus de liberdade = 30,000.....	103
Tabela 21 Tukey HSD test, variável %V; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	104
Tabela 22 Tukey HSD test, variável B ; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	105
Tabela 23 Tukey HSD test, variável Zn; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc; Graus de liberdade = 30,000.....	106

Tabela 24 Tukey HSD test, variável Fe ; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	107
Tabela 25 Tukey HSD test, variável Manganês ; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	108
Tabela 26 Tukey HSD test, variável Cu; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	109
Tabela 27 Tukey HSD test, variável N; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc; Graus de liberdade = 30,000.....	110
Tabela 28 Tukey HSD test, variável pH em CaCl ₂ ; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000".....	112
Tabela 29 Tukey HSD test, variável P- disp ; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	113
Tabela 30 Tukey HSD test, variável P – reman ; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	114
Tabela 31 Tukey HSD test, variável P - total; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	115
Tabela 32 Tukey HSD test, variável Ca; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	116
Tabela 33 Tukey HSD test, variável Magnésio; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade 30,000.....	117
Tabela 34 Tukey HSD test, variável Fe ; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc ; Graus de liberdade = 30,000.....	118

1. INTRODUÇÃO

Áreas degradadas

Coberturas vegetais intactas, também referenciadas como primárias (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015), são assim classificadas por apresentarem a ausência na captação remota de sinais de atividades humanas em uma extensão territorial mínima de 500 km² (PATAPOV, 2017). As atuais grandes massas de vegetações tropicais localizadas na América do sul, Indonésia e República Democrática do Congo, registram atividades que resultam na conversão de vegetações nativas em altas taxas e de modo diferenciado segundo a região, afetando as comunidades locais e gerando distúrbios na biodiversidade, contribuindo também com alterações climáticas em escala regional e global (CROUZEILLES, 2016; SEYMOUR; HARRIS, 2020).

Apesar das supracitadas consequências comuns geradas em decorrência da conversão de uso do solo por meio da supressão de áreas nativas, as causas são complexas, impermanentes e variáveis segundo a região do globo (OHIMAIN; ANDRIESSE; MENSVOORT, 2004; OLANREWAJU; EZEKIEL, 2005; HUANG, 2020). A mineração, a expansão agrícola, as supressões arbóreas em escala industrial e os incêndios são as causas principais para a redução das florestas primárias, encontradas principalmente na Rússia, Brasil e Canadá, os quais somam aproximadamente dois terços do total dessas áreas. A República Democrática do Congo, Peru, Estados Unidos e Indonésia também apresentam parcelas significativas (PATAPOV, 2017).

No Brasil, a maior parte das alterações de uso do solo perpassam pela ocupação da agroindústria, seja para a produção de gado ou para a instalação de monoculturas de soja, havendo também uma maior suscetibilidade à incêndios em decorrência da fragmentação e

ressecamento das vegetações (SILVEIRA; VETTORAZZI; VALENTE, 2008). Enquanto na região do Congo, a principal causa do desmatamento de florestas primárias decorre da abertura de áreas para a agricultura de subsistência e de pequena produção comercial (SEYMOUR; HARRIS, 2019).

No Brasil, as últimas décadas registraram a queda na cobertura savânica do centro-oeste brasileiro, ao passo que atividades de exploração de recursos naturais se elevaram. A análise da cobertura savânica do Brasil das últimas três décadas demonstra perdas de parcelas significativas do bioma Cerrado, entre os anos de 1985 e 2018, em função da crescente exploração de recursos naturais e da substituição da vegetação nativa por outros usos do solo, como por exemplo, a abertura de pastos, áreas agrícolas e de mineração. As taxas de desmate de áreas nativas variaram de 5,5 % a 43,7 %, correspondentes aos estados de São Paulo e Mato Grosso do sul, respectivamente (MAPBIOMAS, 2020).

Concomitantemente, ressalta-se que um ambiente degradado é encarado como qualquer ecossistema que sofreu alterações relativas ao seu estado original, sendo essa modificação histórica ou contemporânea, antrópica ou natural (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015). Assim, uma área degradada é o resultado referente à um conjunto de processos que conduzem ao declínio ou à perda de biodiversidade e funções ou serviços ecossistêmicos (IPBES, 2018).

Quando em referência às áreas degradadas, não podemos perder de vista exigências e acordos internacionais e seus desdobramentos, os quais promovem ou não benefícios econômicos e socioambientais sustentados a partir de estímulos econômicos, acordos e políticas locais, regionais e globais (IBAMA, 2012). Assim, fatores como o estabelecimento

de áreas oficialmente protegidas e promovidas por políticas governamentais, adicionados à presença de comunidades indígenas em seus territórios demarcados, o pagamento por serviços ambientais e a aplicação rigorosa da lei promovem a redução do desmatamento. Contrariamente, o preço elevado das *commodities*, as estruturas de escoamento de produção, através da abertura de estradas, por exemplo, e os incentivos fiscais tendem a estimular o desmatamento e a degradação de áreas protegidas (SEYMOUR; HARRIS, 2019).

À título de exemplo de responsabilidades assumidas por governos brasileiros, citam-se aqueles relativos à Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, de 1992, e as sequenciais Conferências das Partes (COPs), além das Convenções sobre a Diversidade Biológica (CDB) e de Roterdã e a Conferência de Basiléia. Em todos os casos supracitados, o Brasil se comprometeu de modos variados no estabelecimento de melhorias ambientais (IBAMA, 2012). O descumprimento de tais acordos através da elevação dos níveis de desmatamento ilegal, por exemplo, pode provocar, em última análise, cortes em repasses de financiamentos e boicotes à produtos nacionais (NEGRÃO, 2019; VALOR, 2019; KAFRUNI, 2020).

Ademais de exigências legais e diplomáticas referentes à recuperação de áreas exploradas, terras pouco produtivas e eventualmente abandonadas, como muitas das áreas degradadas, comumente apresentam valores de mercado reduzidos, o que estimula e justifica o investimento em benefício da restauração ecológica (XIE et al., 2019). Áreas mais interessantes para a promoção da conservação biológica e da segurança hídrica são também associadas à altos valores de aquisição. Isso decorre em função dos elevados custos de oportunidade e da ausência de um padrão nos processos de restauração florestal.

Adicionalmente, a alta densidade demográfica e suas consequências são apontadas como fatores relevantes aos maiores valores associados (BRANCALION et al., 2019).

Estudos internacionais demonstraram que as maiores oportunidades para a recuperação de áreas degradadas ocorrem através da identificação de zonas com maior relação custo-benefício (STRASSBURG et al., 2019). Assim, há maximização dos prováveis ganhos socioambientais aliados aos menores custos e riscos. Há indicações de que os ganhos ambientais agem de modo direto ou indireto na economia, bem-estar humano e natureza. Deste modo, a recuperação de áreas degradadas extrapola seus objetivos diretos, tais como o reestabelecimento de uma cobertura vegetal e parâmetros edáficos em regiões específicas, atingindo também resultados potencialmente positivos e relativos aos aspectos sociais, culturais e econômicos (BRANCALION et al., 2019).

A distinção entre as terminologias recuperação, reabilitação e restauração se faz oportuna. Enquanto o termo recuperação é referente à um processo que ofereça utilidade e estabilidade ambiental à área anteriormente degradada, com base em um plano preestabelecido (BRASIL, 1989), a reabilitação visa a melhoria do funcionamento e estrutura ecossistêmica, ao passo que a restauração diz respeito ao foco da completa restituição da estrutura e funcionamento do ambiente original (GASTAUER et al., 2019). Apesar de eventuais interpretações difusas, o presente trabalho trabalhará com a terminologia “recuperação” para se referir à pesquisa aqui conduzida.

Deste modo, para que haja um manejo sustentável de recursos naturais, a concepção de exploração deve envolver o aprimoramento de técnicas de restauração do solo, recurso natural mais básico, garantindo seu uso cíclico de modo que a qualidade e capacidade

produtiva devam ser melhoradas para além do estado em que se encontra, mesmo se conservado (LAL; STEWART, 1992). Ainda, ressalta-se que as mudanças no uso do solo alteram de modo significativo as taxas de respiração e estoque de CO₂ do mesmo, promovendo alterações no fluxo e no ciclo do carbono em escala global, e tendo como principal consequência a contribuição com alterações climáticas (HUANG, 2020).

No que se refere às atividades de mineração, com contribuição aproximada de 2 % do PIB mundial (CALAES, 2009) e de 4 % do PIB brasileiro (MME, 2019), as mesmas trabalham a partir da remoção da vegetação de cobertura e da camada fértil do solo (IBAMA, 1990). Atividades de mineração promovem uma série de danos ambientais diretos, como por exemplo poluições do ar, solo e águas. O planejamento dessas atividades incluindo a previsão dos impactos ambientais associados aos potenciais problemas químicos e físicos é essencial ao sucesso da recuperação da área em questão (LAL.; STEWART, 1992).

No Brasil a recuperação dos ambientes degradados pela exploração mineral é prevista pela constituição da República Federativa do Brasil de 1988 em seu Art. 225, § 2º, onde afirma que” Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei” (BRASIL, 1988).

Áreas degradadas mineradas

Apesar de ocupar um espaço reduzido em relação às atividades agrícolas, responsáveis pela maior parcela das áreas desmatadas e degradadas no Brasil (MAPBIOMAS, 2020), a mineração provoca danos mais intensos e agudos em decorrência

da completa remoção da vegetação e camadas do solo, além da eventual contaminação dos solos por resíduos tóxicos. Ademais, uma vez que a mineração ocorre em áreas com características mineralógicas peculiares, que implicam em fisionomias particulares (GRAHAM;O'GEEN, 2009), tais como a vegetação de Canga associada à presença de minério de ferro (SECCO;MESQUITA, 1983), há o aumento na pressão sobre os ecossistemas endêmicos, raros e ameaçados (GASTAUER et al., 2019).

A extração de minério provoca efeitos diversos segundo as especificidades de cada exploração. Ainda assim, alguns impactos ambientais são generalizados, apresentando-se comumente agrupados. As seguintes consequências e limitações são frequentes: acidez do substrato exposto e remanescente, desequilíbrio em sais, deficiência nutritiva, toxidez, poeira suspensa e limitações físicas diversas, como por exemplo a compactação do solo e a erosão (LAL; STEWART, 1992)

A redução do pH ocorre frequentemente em decorrência da comum formação de ácido sulfúrico e da adição de ácidos específicos na extração de minérios. Do mesmo modo, os íons tóxicos e o desbalanço da salinidade são recorrentes em rejeitos de mineração (LAL; STEWART, 1992), enquanto a deficiência nutritiva é uma consequência natural da remoção da camada mais fértil do solo, os primeiros 20 cm (NOVAIS et al., 2007).

Assim, pedologicamente, a degradação antrópica pode gerar a desestruturação de características naturais, guardando traços muito distintos entre si, segundo a origem de suas perturbações. Ademais, solos antropizados também apresentam um comportamento distinto, contendo maior erodibilidade e menor resiliência, oferecendo maior potencial de

contaminação do aquífero. Esses substratos demonstram comportamentos geotécnicos diferentes daqueles esperados pelos mesmos solos em formação natural (EMBRAPA, 2004).

Considerando que o solo é o maior escoadouro e reserva de carbono da superfície terrestre, entende-se que a conservação e recuperação do mesmo implicam em uma maior retenção do elemento no substrato em questão. A retenção referida ocorre através da conservação de matéria orgânica no solo, cujo principal componente é o carbono. Deste modo, a conservação e a recuperação dos solos evitam a dispersão de carbono na atmosfera e suas consequentes contribuições com gases de efeito estufa através do estabelecimento de moléculas específicas (ONU, 2018).

Dentro do sistema brasileiro de classificação dos solos, características que implicam em um substrato formado exclusivamente a partir da ação humana por meio da adição de materiais orgânicos e/ou inorgânicos, com espessura mínima de 40 cm e possivelmente em distintas proporções, assentado sobre qualquer horizonte pedogenético, saprólitos de rocha ou mesmo rochas não intemperizadas são classificados como Antropossolos. Os mesmos possuem classificações secundárias, podendo essas serem denominadas como Líxicos, Sômicos, Móbilicos e Decapíticos (EMBRAPA, 2004).

À vista disso, ainda segundo a EMBRAPA (2004), solos alterados por atividades humanas diretas, as quais promovem a exposição de qualquer horizonte genético ou de superfície, ou ainda de saprólitos pouco pigmentados por matéria orgânica, são classificados no segundo nível categórico, como Decapíticos. Assim, solos reconstruídos a partir de atividades de exploração mineral são classificados como Antropossolos Decapíticos.

A recuperação de áreas mineradas tem como base o controle das consequências da exploração mineral adicionado ao retorno da qualidade ambiental, minimamente igual àquela encontrada antes da mineração. Deste modo, os objetivos dessa abordagem visam o controle e a manutenção das qualidades do ar, dos recursos hídricos e do solo. A recuperação da topografia e da paisagem, bem como os parâmetros de referência à serem atingidos, dependerão dos objetivos da recuperação. Deste modo, é válido ressaltar que são diversos os tipos de degradação e de minas, não existindo uma única maneira para o estabelecimento do processo de recuperação da saúde ambiental da área em questão (IBAMA, 1990; LAL.; STEWART, 1992).

Enquanto alternativas voltadas à recuperação de área degradadas mineradas, podemos citar o reestabelecimento espontâneo através de processos sucessionais (BRADSHAW, 1997; ANAWAR et al., 2013), técnicas de translocação de solo superficial (TACEY; GLOSSOP, 1980; FERREIRA, WALTER; VIEIRA, 2015) e de reconstrução de solos por meio do empilhamento de resíduos de indústria (SERÉ, 2008; SERÉ, 2010). Adicionalmente, a aplicação e adição de resíduos orgânicos aos solos degradados também são alternativas, sejam estes provenientes de atividades de compostagem, excrementos animais, efluentes urbanos ou simplesmente o resultado de resíduos de uma vegetação estabelecida (DOMENE, 2010; ABAKUMOV, 2012; WEITHMANN, 2018).

Isto posto, a aplicação de lodo de esgoto no solo se apresenta enquanto uma potencial ferramenta na recuperação de solos degradadas, apresentando esse entendimento comum em diversos países, como por exemplo a China, Rússia, Estados Unidos e Inglaterra (CORRÊA, 2001; HUANG et al., 2009; SELIVANOVSKAYA, 2003; LOOSDRECHT; BRDJANOVIC, 2014). O uso do lodo com fins de recuperação se justifica porque o mesmo

representa o resultado de efluentes urbanos após o tratamento sanitário, possuindo teores elevados de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo - de agora em diante tratado também como P- e outros micronutrientes (CORRÊA, 2001).

Assim, a adição de lodo de esgoto no solo é baseada no ciclo natural da matéria orgânica e seus componentes minerais, com destaque para o fósforo e nitrogênio. Ressalta-se ainda que distintos tratamentos ofertados ao lodo variam segundo o objetivo de uso final do mesmo e de acordo com as normas sanitárias locais, incluindo diferentes capacidades no fornecimento de nutrientes através de processos de estabilização com tratamento alcalino, pasteurização e digestão aeróbica e anaeróbica, por exemplo (CORRÊA, 2004; CORRÊA, 2001).

Recuperação de áreas degradadas mineradas com uso do lodo de esgoto

A reciclagem de lodo de esgoto e sua aplicabilidade à nutrição de plantas é relatada como sendo uma invenção inglesa, por Ardern e Lockett no início do século XX. Apesar de representar um processo de relativo baixo custo * pessoa, o tratamento de esgoto requer um investimento inicial elevado devido aos elevados investimentos requeridos ao estabelecimento de uma infraestrutura local. O lodo de esgoto pode servir como matéria-prima no desenvolvimento de determinados materiais, como por exemplo bioplásticos e biopolímeros, além de possibilitar a reciclagem de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio. Porém, tendo em vista a carência no fornecimento de saneamento básico em muitas regiões de países em desenvolvimento, o uso desse resíduo pode ser, por hora, limitado em determinadas localidades (LOOSDRECHT; BRDJANOVIC, 2014).

A aplicação de resíduos orgânicos através do lodo de esgoto representa um manejo com foco na elevação dos estoques de carbono no solo em um curto intervalo de tempo por meio da adição de matéria orgânica direta. Assim, o carbono em questão provém, originalmente, de plantas, animais e resíduos microbianos em todos os estágios de decomposição, caracterizando o balanço entre a entrada e a saída do elemento no solo. Esse saldo ocorre, sobretudo, através da produção primária e decomposição de resíduos (TORRI; CORRÊA; RENELLA, 2014).

A capacidade na elevação de parâmetros relativos à fertilidade de um solo reconstruído com lodo de esgoto é demonstrada a partir da constatação do aumento da capacidade de troca catiônica e dos teores de nitrogênio, fósforo e zinco, mediante doses crescentes do material aplicado (HUANG et al., 2010; CORRÊA et al., 2010). Portanto, o lodo é capaz de promover melhorias do ponto de vista ecológico e ambiental, já que mesmo seu depósito final em aterros sanitários, destinação legalmente considerada como ambientalmente adequada segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), promove o acúmulo e a decomposição da matéria orgânica, gerando a consequente liberação de gases como o metano e gás carbônico (TORRI; CORRÊA; RENELLA, 2014).

No Brasil, os procedimentos e critérios que definem a aplicação de lodo de esgoto para a produção agrícola e silvicultural são estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006), a qual estabelece, dentre outras coisas, a frequência no monitoramento de áreas tratadas com o material, segundo a dose aplicada. Ademais, a produção, compra, venda, cessão, empréstimo ou permuta do lodo de esgoto e seus produtos derivados é regulada pela Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que trata

da inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura (BRASIL, 1980).

Deste modo, a aplicação de lodo de esgoto como fonte de nutrientes ocorre após o tratamento do material que, em solos brasileiros, deverá obrigatoriamente ser submetido à processos de diminuição de patógenos e de atratividade de vetores (BRASIL, 2006). Denomina-se bio sólido o lodo tratado e direcionado intencionalmente à agricultura (CORRÊA, 2001), que pode conter elementos distintos à depender de sua origem, como por exemplo, poluentes e tóxicos, como determinados metais e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, além do excesso de nitrogênio, fósforo, e outros (TORRI; CORRÊA; RENELLA, 2017; WEITHMANN, 2018).

O tratamento dos efluentes urbanos pode ter até quatro etapas: preliminar, primária, secundária e terciária, cada qual gerando lodo em seu processo final. A etapa preliminar consiste na retirada de materiais grosseiros por meio de peneiras e grades; o tratamento primário trabalha com a decantação e retirada do material suspenso para o sequencial tratamento secundário, quando microorganismos são introduzidos no meio visando acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica. Finalmente, na etapa terciária há a remoção de poluentes específicos, como o excesso de fósforo e nitrogênio, por exemplo (CAESBb, 2020).

Bio sólidos podem ser aplicados, por exemplo, na sua forma fresca ou ressecada sob diferentes temperaturas, radiação solar e através de centrifugação mecânica (CORRÊA, 2001; HERNÁNDEZ, 2017). Quanto à forma física, o material a ser introduzido no ambiente pode estar sólido, semi-sólido ou líquido, quando também existe a possibilidade de estar

aliado à fertilizantes, promovendo um maior custo-benefício (DING et al., 2020). Independentemente dos benefícios potenciais e já verificados, ressalta-se que a recuperação do solo promovida pelo lodo deve considerar a potencial elevação excessiva dos níveis de fósforo no solo e outros contaminantes, como por exemplo antibióticos e microplásticos, os últimos são relatados por Weithmann (2018) como onipresentes no solo (PÉREZ-GIMENO, et al., 2015; CORRÊA; BENTO, 2010; ROCHMAN,2018; PÄRNÄNEN, 2019).

Em um cenário otimista e quando em comparação com dados referentes à aplicação de lodo de esgoto no solo enquanto fertilizante, há evidências e estimativas de que, além da maior possibilidade de ocorrência de microplásticos, a concentração nesses compostos pode ser até três vezes maior do que o estimado (REF.). No entanto, ressalta-se que a concentração desses resíduos varia segundo a origem dos mesmos, sendo aqueles relacionados à produção urbana os mais contaminados (WEITHMAN, 2018).

Potencialmente presentes em lodos de esgoto, aqueles elementos expressos em concentrações totais no solo menores que 1000 mg/kg são denominados elementos-traço, e podem ser classificados em três categorias: micronutrientes (Cu, Zn,Mn,B, Ni e Mo), que são essenciais às plantas em concentrações que variam de 0,1 mg/kg até 100 mg/kg segundo o elemento, podendo se comportar de modo tóxico em concentrações mais elevadas; elementos não essenciais às plantas, mas essenciais aos animais (ex.: Se, I e Co) e; elementos não essenciais às plantas e nem aos animais, os quais são tóxicos em poucas concentrações (ex.: Li, Be, As, Hg, Cd e Pb) (WHITE, 2009).

Porém, a aplicação de lodo de esgoto em áreas contaminadas por elementos-traço pode promover o desenvolvimento de plantas, reduzindo também a translocação de metais

das raízes para o interior das plantas em decorrência da formação de complexos carbônicos (ANDRÉS, FRANCISCO, 2008; GROBELAK et al., 2016; PENIDO et al., 2019). Ademais, a aplicação de lodo de esgoto no solo com fins de restauração deve levar em consideração a capacidade de lixiviação de patógenos, que uma vez adicionados no solo decaem segundo o transcorrer do tempo, indicando a necessidade de um intervalo de descanso antes do manejo do solo através da irrigação e plantios, por exemplo (HERNANDEZ et al., 2017). No tocante ao fósforo, o excesso do elemento em corpos hídricos é um potencial causador da eutrofização (WU et al., 2012).

Fósforo no solo, no lodo e a recuperação de solos degradados

Apesar de básico ao funcionamento vegetal e de se apresentar vastamente distribuído na natureza, o fósforo é um dos elementos menos disponíveis às plantas em regiões tropicais (NOVAIS et al., 2007). A carência na disponibilidade desse elemento é um limitante ao desenvolvimento vegetal, de modo que mesmo em florestas tropicais, a carência de fósforo inerente aos solos dos trópicos se constitui enquanto restritiva, uma vez que a retroalimentação do elemento ocorre através da produção de matéria orgânica. Ou seja, a oferta de fósforo aumenta à medida em que a floresta se desenvolve, sendo o fósforo orgânico a principal fonte da espécie química em questão para florestas nativas (GUEDES et al., 2020).

As funções vitais dos vegetais estão relacionadas diretamente ao P e suas respectivas atividades metabólicas, havendo também as composições estruturais correlatas e relativas ao funcionamento orgânico. Metabolicamente, aponta-se a formação dos compostos fosfatados ATP e ADP e moléculas energéticas resultantes da conversão de gás carbônico em energia, as quais são básicas nas reações fisiológicas. Adicionalmente à composição básica a partir

de moléculas de P, citam-se a composição de ácidos nucleicos, nucleotídeos, fosfoproteínas, fosfolipídeos, fosfatos de açúcar e fitina, sendo os dois últimos relacionados ao armazenamento energético em sementes (RASHID; MEMON, 1996).

O fósforo no solo existe nas formas orgânica e inorgânica. Enquanto o P orgânico se encontra em materiais orgânicos, o P inorgânico ocorre em metais e outros materiais rochosos. Muito do P inorgânico não está disponível às plantas em decorrência de sua insolubilidade. Os maiores depósitos de P do mundo são compostos por rochas sedimentares, que antes compunham um manto oceânico submerso (RASHID; MEMON, 1996).

Há indicativas de que o P inorgânico possa ser encontrado em rochas ígneas que ocorrem em cristais dispersos nesses materiais rochosos. A importância relativa do P inorgânico no solo dependerá das condições impressas pelo pH e tipos de minerais expressos majoritariamente. Solos mais ácidos, com prevalência de óxidos de ferro e alumínio (Fe e Al, nesta ordem) apresentam P ligado à Fe e Al de modo mais frequente (RAIJ, 1983; TROEH; THOMPSON 2007).

A compreensão do comportamento do P no solo, em especial em solos tropicais, perpassa pelo entendimento e emprego de um conceito fisiológico vegetal empregado por Sallisburry & Ross (1969): a relação fonte-dreno. Segundo os autores, determinados compartimentos da natureza se comportam como fontes ou como drenos, fornecendo ou captando energia, respectivamente. Quando fértil, o solo poderá se comportar como fonte ou se tornar uma, mediante o enriquecimento nutricional com fertilizantes ou adubos. Pensando-se na manutenção de florestas, a relação fonte-dreno ajuda a entender a dinâmica da absorção

de nutrientes e a relevância do contato das partículas do solo e minerais ciclados, especificamente o P (NOVAIS et al., 2007; NOVAIS; SMYTH, 1999).

Por sua vez, o intemperismo que ocorre nos solos à medida que os mesmos são expostos à intempéries climáticas, gerando a elevação gradual da eletropositividade. Deste modo, a conseqüente redução da capacidade de troca catiônica também promove a diminuição da capacidade do solo em se comportar como fonte de nutrientes. Paralelamente, o desgaste do solo gera o aumento na capacidade de adsorção do solo (AYENEW, et al., 2018).

Solos altamente intemperizados são comumente ácidos, ricos em cargas positivas como o H^+ e Al^+ . Desta maneira, algumas das conseqüências da elevação do grau de intemperismo que ocorre naturalmente ao longo de milhares de anos, incluem: a elevação da eletropositividade e da retenção aniônica e a redução da capacidade de troca catiônica e da saturação por bases. Entende-se que a natureza de um solo tipicamente intemperizado é o comportamento de dreno de ânions, como é o caso dos ânions de P (RESENDE et al., 1999; NOVAIS et al., 2007).

A retenção do P no solo ocorre tanto por precipitação (P + formas iônicas de Fe, Al, Ca e Mg) quanto por adsorção por oxidróxidos de Fe e Al em solos ácidos. É válido frisar que o fenômeno da adsorção é um termo genérico que indica reações químicas e físicas ocorrentes em interfaces de partículas do solo. A superfície é chamada adsorvente, e a substância é denominada adsorvato (NOVAIS; SMYTH, 1999).

O nível de retenção do P no solo é grandemente influenciado pela natureza mineralógica da argila componente do mesmo. Deste modo, solos ricos em minerais 1:1

apresentam maior fixação de P, enquanto uma maior porcentagem em minerais 2:1 demonstra maior disponibilidade do elemento. Solos ácidos, típicos em regiões tropicais, demonstram abundância preponderante em minerais do tipo 1:1 e, assim, maior retenção de fósforo. Para solos com a natureza mineralógica similar, quanto maior a quantidade de argila, maior será a retenção de P, uma vez que o maior conteúdo de argila implica em uma superfície de contato disponível para interação com o elemento amplificada (RASHID; MEMON, 1996).

O P inicialmente adsorvido à superfície dos agregados se difunde para o interior dos mesmos, dando continuidade às reações. Esse processo pode durar anos até que haja um equilíbrio, sendo apontado como uma das causas da elevação da indisponibilidade de P tempo após a aplicação do elemento com fertilizantes (NOVAIS et al., 2007; NOVAIS; SMYTH, 1999). Assim, a disponibilidade de P reduz em decorrência do aumento da adsorção e/ou precipitação ao longo do tempo, sendo esse feito mais pronunciado em solos de textura média, argilosa e arenosa, respectivamente (MACHADO et al., 2011).

Considerando que a produção em massa de isolados de fosfato é voltada para atividades agrícolas, é válido ressaltar que dentro da agricultura de larga escala, são as características supracitadas que tornam frequentemente necessárias as aplicações de elevadas doses de P para que haja a disponibilização do elemento no solo. Entretanto, as doses exageradas de P são consideradas economicamente ineficientes (MACHADO et al., 2011). Ressalta-se ainda que o solo possui maior capacidade de retenção de P do que as plantas, em torno de 200 vezes mais. Porém, as formas desse P retido são frequentemente indisponíveis (NOVAIS et al., 2007).

A agricultura de grandes insumos e a ausência de atenção voltada às questões ambientais apontam como reduzida a validade e contribuição do P orgânico na produtividade vegetal. Contudo, sabe-se que na ausência de fertilizantes fosfatados, o fósforo orgânico pode se comportar como fonte de P. Os componentes do P orgânico são reconhecidos em extratos distintos, sendo esses os seguintes: ortofosfato de monoésteres, ortofosfato de diésteres e fosfonatos (NOVAIS; SMYTH, 1999). Os ortofosfatos de monoésteres compõem o principal componente do P orgânico em extratos do solo, e entre 30 % a 70 % do P do solo ocorre na forma orgânica (MARSCHNER, 1995).

Os microrganismos edáficos disponibilizam P através da mineralização e da produção de ácidos orgânicos (WHITE, 2009). O montante da mineralização do P orgânico ocorrerá de modo relativo à concentração de resíduo orgânico disponível para a promoção da respiração dos microrganismos. Acima de uma concentração determinada haverá mineralização, abaixo desta, ocorrerá a imobilização do elemento (NOVAIS; SMYTH, 1999).

A maior parte do fluxo de P que atinge as raízes das plantas ocorre através da difusão. Porém, uma parte reduzida ocorre por meio do fluxo de massa e da interceptação pelas raízes. O P no solo é pouco móvel, sendo capaz de se translocar dentro de um espaço variável de 5 a 10 mm, portanto, a maior eficácia na obtenção de compostos solúveis de P ocorrerá para valores de distância e velocidade mínimas (TROEH; THOMPSON, 2007). Assim, considerando a limitada mobilidade do P no solo, a associação simbiótica com fungos micorrízicos arbusculares torna-se relevante, uma vez que há a expansão da estrutura física das raízes e o consequente aumento na capacidade exploratória da rizosfera por parte das

mesmas. Finalmente, a planta se torna mais hábil em absorver nutrientes, especialmente os pouco móveis (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Considerando as qualidades referidas e supracitadas até o momento, ressalta-se aqui a capacidade do fornecimento do fósforo aos solos degradados por meio da aplicação de lodo de esgoto. A elevação da qualidade física (RICCI et al., 2010a) e química de um solo é verificada após aplicações de distintas doses de lodo em solos decapitados, promovendo a elevação significativa dos teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio, magnésio, potássio, manganês e ferro, além do aumento do pH (RICCI et al., 2010b; TORRI; CORRÊA; RENELLA, 2014; ROS; HERNANDEZ; GARCÍA, 2003).

A forma mais comum de P encontrada nos lodos ocorre através de moléculas de fosfato de alumínio, $AlPO_4$, adsorvido à superfície de hidroxifosfato férrico, hidroxiapatita ou fosfato tricálcico. Essas estruturas possuem baixa disponibilidade, representando entre 70 % e 90 % do fósforo total. A forma mais disponível é encontrada como ânions de ortofosfato, estando associada à biomassa microbiana (TORRI; CORRÊA; RENELLA, 2017).

Visando evitar a eutrofização potencialmente gerada em decorrência do despejo de lodo de esgoto em rios e lagos indica-se como necessário o tratamento do mesmo. A redução dos teores de fósforo no lodo pode ocorrer através da aplicação de sulfato de ferro no material, que provoca o bloqueio dos sítios de fósforo e promove sua indisponibilidade (NOVAIS, SMYTH, 1999). Na região do Distrito Federal, o sulfato de alumínio, $Al_2(SO_4)_3$ é utilizado com o mesmo fim (CAESBa, 2020).

Assim, com base nas informações relatadas, a aplicação de lodo de esgoto é descrita como ocorrente de modo empírico em áreas mineradas do Distrito Federal desde 1994.

Considerando as características químicas do sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$, que neutralizam a presença de moléculas de P em ambientes aquáticos ((NOVAIS; SMYTH, 1999), utilizado pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB - e, aliando às qualidades químicas de solos típicos do Cerrado, os Latossolos e Cambissolos, que possuem uma carência natural na disponibilidade de fósforo (RESENDE, et al., 1999; EMBRAPA, 2020), o presente estudo visa os seguintes objetivos:

- i. avaliar a alteração na fertilidade e dinâmica do fósforo em Antropossolos Decapíticos reconstruídos com lodo de esgoto;
- ii. verificar a variabilidade na qualidade geral de solos recuperados a partir da aplicação de lodo de esgoto em áreas degradadas pela mineração no Distrito Federal, as quais receberam doses variadas de lodo em cinco anos distintos;
- iii. Verificar o efeito do tempo sobre a variabilidade de fósforo remanescente e disponível, em áreas distintas sob tratamentos distintos;
- iv. evidenciar os efeitos do sulfato de alumínio na disponibilidade de fósforo em um Latossolo e em Cambissolos.

O objetivos gerais permeiam na avaliação do comportamento do fósforo em um solo degradado recuperado com lodo de esgoto no decorrer de um intervalo de tempo determinado e na avaliação de parâmetros de qualidade de solo e na contribuição com o estabelecimento de diretrizes científicas para a implementação técnica de um método de recuperação de áreas degradadas no Cerrado brasileiro. As hipóteses consideram que o fósforo presente em lodos de esgoto produzidos nas estações de tratamento do Distrito Federal apresenta-se pouco

disponível para as plantas, e que o lodo de esgoto altera a dinâmica do fósforo nos solos em que é aplicado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A atual pesquisa trabalhou com a análise de dados referentes ao projeto em andamento *Antropossolos decapíticos - Avaliação do desenvolvimento edáfico e ecológico dos solos reconstruídos com lodo de esgoto em áreas mineradas no Distrito Federal*, que conduz a avaliação ecológica e edáfica resultantes da aplicação de lodo de esgoto nos locais em questão. O projeto em questão visa o desenvolvimento de técnicas de reconstrução de solos e de restauração ecológica de áreas degradadas pela mineração. Deste modo, o presente estudo avaliou parâmetros químicos do solo referentes à aplicação de lodo em todas as regiões referidas na Tabela 1 de modo empírico por parte de empresas mineradoras e da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB.

2.1 Áreas de estudo

São cinco as áreas de estudo e de aplicação passada de lodo de esgoto, as quais estão todas inseridas nos perímetros do Distrito Federal, de acordo com a figura 3, e nas seguintes e atuais localidades: Lago sul, Gama, Jardins Mangueiral, Parque Nacional de Brasília e Planaltina. Em todas as localidades que receberam o lodo havia amostras de Cerrado original e, em todos os casos, a vegetação presente correspondeu à fisionomia Cerrado *sensu stricto*.

2.2 Caracterização das áreas e solos de estudo

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima do Distrito Federal é identificado como AW, caracterizado pela presença de um clima tropical, vegetação de Savana e duas estações bem definidas, sendo o inverno seco e o verão úmido (PEEL; FINLAYSON; McMAHON, 2007). O período seco é caracterizado e iniciado no final de março, possuindo

as menores temperaturas e permanecendo até meados de outubro, quando as chuvas retornam à região. A temperatura média varia entre os 19 e 22 °C e a umidade relativa do ar média registra cerca de 66 %, enquanto a precipitação média anual é de aproximadamente 1500 mm, com 84 % do registrado ocorrente entre os meses de outubro a março (INMET, 2020).

A altitude média do Distrito Federal é de 1100 m, com relevo predominantemente aplainado e formando áreas de Chapadas, frequentes na região (CODEPLAN, 2013). Por sua vez, a vegetação remanescente nas áreas se apresentou contida em pequenos fragmentos testemunhas, conforme as figuras 2 e 3, tendo suas fisionomias caracterizadas como de Cerrado típico, com árvores tortuosas e espaçadas entre si e através de um estrato herbáceo, majoritariamente composto com espécies do gênero Poaceae (JÚNIOR; HARIDASAN, 2005).

Os solos originais amostrados foram caracterizados como Cambissolos e Latossolos. Os Cambissolos são basicamente caracterizados pelo horizonte B Incipiente, pouco desenvolvido, inexistência de cerosidade, presença de material mineral primário muito intemperizável, ou argila mais ativa ou teores elevados de silte em relação à argila. Já os Latossolos possuem como critérios de classificação os teores de Fe_2O_3 associados à rocha matriz, coloração variável entre tonalidades de vermelho, amarelo e roxo. Ambas as

classificações pedológicas apresentam teor de argila uniforme e em profundidade, no



Figura 1. Vegetação testemunha em área minerada, tratada com lodo de esgoto e revegetada após o tratamento.
Fonte: Adaptado de Lima (2019).



Figura 2. Vegetação testemunha em área minerada, tratada com lodo de esgoto e revegetada após o tratamento.
Fonte: Adaptado de Lima (2019).

entanto, os Cambissolos são considerados mais jovens (RESENDE, 1999). As características gerais das áreas de estudo estão resumidas na tabela 1.

2.3 DESENHO EXPERIMENTAL E AMOSTRAGEM DOS SOLOS

Quarenta e cinco amostras foram coletadas em 2015 em de substratos revegetados e não revegetados (controle) em cinco diferentes jazidas de cascalho (Cambissolos) e argila (Latosolo). A escolha das áreas revegetadas avaliadas teve por base três critérios:

1. Ter recebido lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica e nutrientes para a revegetação;
2. Presença de cobertura vegetal bem estabelecida de forma espontânea;
3. Possibilidade de determinação do tempo em que a área se encontra em processo de sucessão após a incorporação de lodo de esgoto ao substrato exposto.

A coleta das amostras consistiu no recolhimento de amostras pontuais múltiplas e aleatórias, considerando a metodologia descrita pela EMBRAPA (2006a), com 3 amostras compostas por 10 subamostras de cada tratamento, as quais foram misturadas e analisadas como uma amostra única. Deste modo, as amostragens foram distribuídas em pontos aleatórios dentro de 1 ha, para cada área de estudo. As profundidades de coleta ocorreram nos primeiros 20 cm de profundidade, sendo posteriormente ensacadas e secas à sombra em um intervalo de duas semanas. Posteriormente, os materiais foram passados em peneira de 10 Mesh e levadas para o laboratório.



Figura 3. Localização e datas das respectivas aplicações de lodo de esgoto no solo como ferramenta de recuperação das áreas degradadas mineradas coletas de solo e manejo com lodo de esgoto.

Tabela 1 – Características gerais das áreas tratadas com lodo de esgoto

Ano de aplicação do lodo/ atual localização	Dose (mg*ha ⁻¹)	Jazida	Altitude (m)	Clima	Vegetação original	Solo original	Localização geográfica	Referência
1997 / Lago sul	40	Argila	1101	Tropical de Savana (Aw - Köppen	Cerrado <i>sensu stricto</i>	Latossolo	15° 48' 44,07" S e 47° 47' 39.11" W	Balduino, 2019.
2002 / Gama	250	Cascalho	1084	Tropical de Savana (Aw - Köppen	Cerrado <i>sensu stricto</i>	Cambissolo	15° 57' 1.93" S e 48° 10' 38.76" W	Lima, 2019.
2008 / Jardins Mangueiral	150	Cascalho	1032	Tropical de Savana (Aw - Köppen	Cerrado <i>sensu stricto</i>	Cambissolo	15° 53' 6" S e 47° 48' 54" W	Balduino, 2019.
2011 / Parque Nacional de Brasília	130	Cascalho	1126	Tropical de Savana (Aw - Köppen	Cerrado <i>sensu stricto</i>	Cambissolo	15° 47' 11.1" S e 47° 57' 3.8" W	Balduino, 2019.
2015 / Planaltina (DF)	150	Cascalho	1039	Tropical de Savana (Aw - Köppen	Cerrado <i>sensu stricto</i>	Cambissolo	15° 47' 57.94" S e 47° 38' 08.09" W	Balduino, 2019.

2.4 Análises do solo

Análises relativas à avaliação de parâmetros de fertilidade ocorreram para todas as coletas em 2015, em laboratório particular – Laboratório Soloquímica, Asa sul, Distrito Federal, Brasil. Os seguintes parâmetros foram avaliados para a interpretação da fertilidade do solo: pH em água, pH em CaCl₂, teor de matéria orgânica (MO), nitrogênio total (N-total), enxofre (S), fósforo disponível (P-disp), fósforo remanescente (P-rem), fósforo total (P-total), bases (Ca, Mg e K), Al, acidez potencial, capacidade de troca catiônica a pH = 7,0 (CTC), saturação por bases (V%) e concentração de micronutrientes (B, Zn, Fe e Cu).

A análise do pH em CaCl₂ seguiu os protocolos estabelecidos segundo a EMBRAPA (2011), os teores de fósforo remanescente, disponível (obtido com extrator de Melich -1) e total foram obtidos por meio da metodologia descrita pela EMBRAPA (2017), enquanto os teores de matéria orgânica, nitrogênio total, enxofre, cálcio, magnésio, potássio, CTC, acidez potencial e micronutrientes foram obtidos segundo a metodologia da EMBRAPA (1997). Todos os valores do carbono orgânico foram, finalmente, multiplicados por 1,72, como meio de aplicar o fator de conversão de carbono para matéria orgânica.

2.5 Análises de dados

2.5.1 Verificação da qualidade geral de solos recuperados a partir da aplicação de lodo de esgoto

A avaliação da qualidade geral da fertilidade dos solos ocorreu a partir da Análise de Variância (ANOVA) aninhada, no software Statistica 12.0. As análises ocorreram mediante a aplicação de uma análise multivariada com estatística univariada sequenciada pela análise *Post Hoc* e o teste de Tukey. Todas as análises ocorreram com significância de 5 %.

A Anova aninhada considerou os distintos tipos de solo enquanto hierarquicamente superiores aos 21 parâmetros avaliados, analisados repetidamente para cada tipo de solo

amostrado. Durante as análises, a vegetação foi avaliada como um fator fixo, enquanto os anos foram avaliados enquanto fatores aleatórios. A análise univariada avaliou as significâncias dos parâmetros isolados, enquanto a análise *Post Hoc* foi aplicada de modo aliado ao teste de Tukey, no intuito de verificar a interação “vegetação-ano” de cada fator, em separado.

Durante as análises, o termo “vegetação” se referiu ao tipo de cobertura do solo no momento da coleta, o qual variou de solo com vegetação Cerrado *sensu stricto*, solo com substrato exposto e solo revegetado após o tratamento com lodo de esgoto.

2.5.2 Verificação da variabilidade de fósforo remanescente e disponível ao longo do tempo, nas áreas distintas

Análises dos Componentes Principais (PCA) e a Análise de Redundância (RDA) foram realizadas por meio do software R, com uso do pacote Vegan. A fim de verificar as características dominantes do conjunto de dados revegetados utilizou-se a PCA. Por outro lado e, de modo sequencial, a RDA foi realizada com o intuito de averiguar a significância da relação entre as variáveis que mais caracterizam as áreas tratadas, dividindo-as entre preditoras e respostas. O intuito do teste foi verificar qual dos tipos de fósforo mais contribuem com o fósforo total, considerando a ausência de um comportamento linear uniforme por parte do fósforo (NOVAIS; SMYTH, 1999; BOCARD; GILLET; LEGENDRE, 2011).

Sequencialmente, através do software Statística 12.0, a aplicação de uma Anova aninhada avaliou as relações entre os fatores com variância significativa dentro das interações em questão, as quais consideraram a vegetação como fator fixo e o ano enquanto fator

aleatório. Posteriormente, aplicaram-se análises univariadas sequenciadas de verificações *Post Hoc* aliadas ao teste Tukey, com significância de 5 %.

Durante as análises, o termo “vegetação” se referiu ao estado do solo no momento da coleta, o qual variou de solo com vegetação Cerrado *sensu stricto*, solo com substrato exposto e solo revegetado após o tratamento com lodo de esgoto.

3. RESULTADOS

3.1 Verificação da qualidade geral de solos recuperados a partir da aplicação de lodo de esgoto

A Tabela 2 demonstra os resultados dos parâmetros do solo analisados juntamente com as texturas verificadas no momento da coleta. Conforme a Tabela 3, a análise de variância multivariada demonstrou que a interação dos parâmetros analisados sofreu alterações significativas considerando tanto a aplicação do lodo no solo e a resultante alteração de nutrientes, como a interação do lodo sob os efeitos do tempo, ou seja, a interação “tipo de solo- ano”. Em todos os casos o *p*-valor se apresentou em valores menores do que 0.01.

Tabela 2 Valores médios dos parâmetros químicos analisados para os tratamentos solo de Cerrado sensu stricto, solo revegetado com lodo de esgoto e substrato exposto.

Vegetação	Ano	Textura	pHemágua	pHemCaCl2	M.O	P-disp	P-reman	P-total	Potássio	Kcmol	S
			-	-	dag/kg	mg/dm ³	mg/dm ³	g/kg	mg/dm ³	cmolc/dm ³	mg/dm ³
Cerrado	1997	Argilosa e argilosa pesada	5.5	4.7	3.4	1.5	16.4	0.1	70.6	0.1	5.2
Cerrado	2002	Argilosa	4.7	4.2	4.4	1.8	16.4	0.1	173.5	0.4	5.8
Cerrado	2008	Argilosa	5	4	3.5	1.4	14.3	0.1	142.4	0.3	4.4
Cerrado	2011	Argilosa	5.5	4.7	4.1	1.9	26.5	0.1	62.2	0.1	4.7
Cerrado	2015	Argilosa	5	4.2	3.7	1.5	19.8	0.1	77.8	0.1	4.3
Revegetado	1997	Franco-argilosa, argilosa e argilosa pesada	5.9	5.1	4	147.4	48.3	1.4	39.2	0.09	10.3
Revegetado	2002	Franca e franco-argilosa	6.4	5.9	4.4	782.8	36.2	1.6	76.2	0.1	6.1
Revegetado	2008	Franca	4.6	4.3	4.4	836.3	101.8	1.6	350.2	0.9	36
Revegetado	2011	Argilosa e argilosa pesada	5.4	5.2	2.3	269.8	16.3	1.4	85.6	0.2	31.6
Revegetado	2015	Franco-argilosa	4.5	4.2	4.4	662.5	29.4	1.4	349.2	0.8	67.9
Substrato	1997	Argilosa pesada	5.9	5.6	0.2	0.8	3.5	0.01	11.5	0.03	6.7
Substrato	2002	franca e franco-argilosa e franco-arenosa	5.4	4.9	0.2	1.6	9.2	0.01	17.3	0.04	6
Substrato	2008	Argilosa	5.2	3	0.3	1.5	14.4	0.01	20.4	0.05	4.7
Substrato	2011	Argilosa e argilosa pesada	5.3	5.3	0.3	1.4	5.3	0.01	19.2	0.04	5.5
Substrato	2015	Argilosa	5.1	4.7	0.3	1.3	7.2	0.01	50.1	0.1	4.6

Tabela 2. Valores médios dos parâmetros químicos analisados para os tratamentos solo de Cerrado sensu stricto, solo revegetado com lodo de esgoto e substrato exposto.

Vegetação	Ano	Ca	Magnésio	Al	AcidezPotencial	CTC	%V	B	Zn	Fe	Manganês	Cu	N
		cmolc/dm ³	%	mg/dm ³	%								
Cerrado	1997	0.2	0.1	0.6	8.5	9.1	5.3	0.3	0.7	96.9	7.9	0.1	0.1
Cerrado	2002	0.5	0.4	0.5	10	11.4	12	0.2	0.7	100	14	0.2	0.1
Cerrado	2008	0.3	0.2	1.3	9.4	9.9	9	0.3	2.7	161.7	4.6	5	0.1
Cerrado	2011	1.8	0.4	0.1	5.5	8	27.3	0.1	3	38	8.6	2.6	0.2
Cerrado	2015	0.4	0.2	0.5	7.2	8.2	10	0.1	0.3	59.8	11.7	0.4	0.1
Revegetado	1997	2.9	0.6	0.1	6.7	8.8	34	0.1	17.5	99.2	5.7	2.6	0.2
Revegetado	2002	6	1	0.1	4.5	9.1	57	0.2	41.4	117.4	6.8	3.8	0.3
Revegetado	2008	2.1	0.5	0.6	15.9	21	16.6	0.2	46	335.2	10.3	6.7	0.5
Revegetado	2011	3.5	0.6	0.1	10.2	6.1	44	0.1	12.9	39.6	3.9	3.3	0.1
Revegetado	2015	4.4	1.7	0.2	9	16.1	44	0.6	38.9	135.3	8.2	4.5	0.3
Substrato	1997	0.2	0.1	0.1	1	1.3	26	0.1	0.1	3.3	1	3.2	0.02
Substrato	2002	0.3	0.1	0.1	1.3	1.7	34.6	0.1	1.3	34.9	0.5	1.2	0.04
Substrato	2008	0.1	0.1	0.1	3.1	3.4	8	0.1	1.1	28.5	3.9	1	0.07
Substrato	2011	0.6	0.1	0.1	2.3	3.3	23.6	0.1	0.4	20.5	1.4	0.1	0.07
Substrato	2015	0.2	0.1	0.1	2.4	2.9	21	0.1	0.6	40.1	2	0.2	0.08

Tabela 3 Teste multivariado de significância (Anova aninhada) *Over-parameterized model Type III decomposition*

	Teste	Graus de liberdade	Erro- graus de liberdade	<i>p</i> -valor
Intercepto	Wilks	20	11	< 0.01
Vegetação -ano	Wilks	200	121.22	< 0.01
Ano	Wilks	80	45.81	< 0.01

Por sua vez, a Tabela 4 demonstra o resultado da estatística univariada, a qual apresenta a análise de valores individuais para cada parâmetro e a interação com o elemento fixo: o ano. Considerando os macronutrientes, CTC do solo, pH e matéria orgânica enquanto parâmetros que mais influenciam, de modo integrado, na fertilidade do solo (SMYTH, 1999; NOVAIS et al., 2007), os gráficos abaixo demonstram alterações majoritariamente significativas e positivas nos substratos submetidos à aplicações de diversas doses de lodo, demonstrando o efeito do tempo na adição dos respectivos nutrientes no substrato tratado:

Os resultados das análises *Post Hoc* em conjunto com o teste de Tukey para a avaliação conjunta da interação de todas as variáveis analisadas estão inseridos no Anexo I e foram a base das análises gráficas sequenciais. Os valores significantes foram destacados em vermelho. Deste modo, para um mesmo parâmetro, quanto maior a quantidade visual de destaques, maior a quantidade de alterações significativas integradas.

Tabela 4 Resultados da ANOVA univariada para cada parâmetro químico. *Over parameterized model; Type III decomposition.*

Valores em vermelho apresentaram-se significantes, com 95 % de confiança.

Graus de liberdade	Interação vegetação-ano	Ano
	10 (<i>p- valor</i>)	4 (<i>p- valor</i>)
pHemágua	< 0.01	< 0.01
pHemCaCl2	< 0.01	< 0.01
M.O	< 0.01	< 0.01
P-disp	< 0.01	< 0.01
P-reman	< 0.01	< 0.01
P-total	< 0.01	< 0.01
Potássio (mg/dm ³)	< 0.01	< 0.01
Potássio (cmol)	< 0.01	< 0.01
S	< 0.01	< 0.01
Ca	< 0.01	< 0.01
Magnésio	< 0.01	< 0.01
Al	< 0.01	< 0.01
AcidezPotencial	< 0.01	< 0.01
CTC	< 0.01	< 0.01
%V	< 0.01	< 0.01
B	< 0.01	< 0.01
Zn	< 0.01	< 0.01
Fe	< 0.01	< 0.01
Manganês	< 0.01	< 0.01
Cu	< 0.01	< 0.01
N	< 0.01	< 0.01

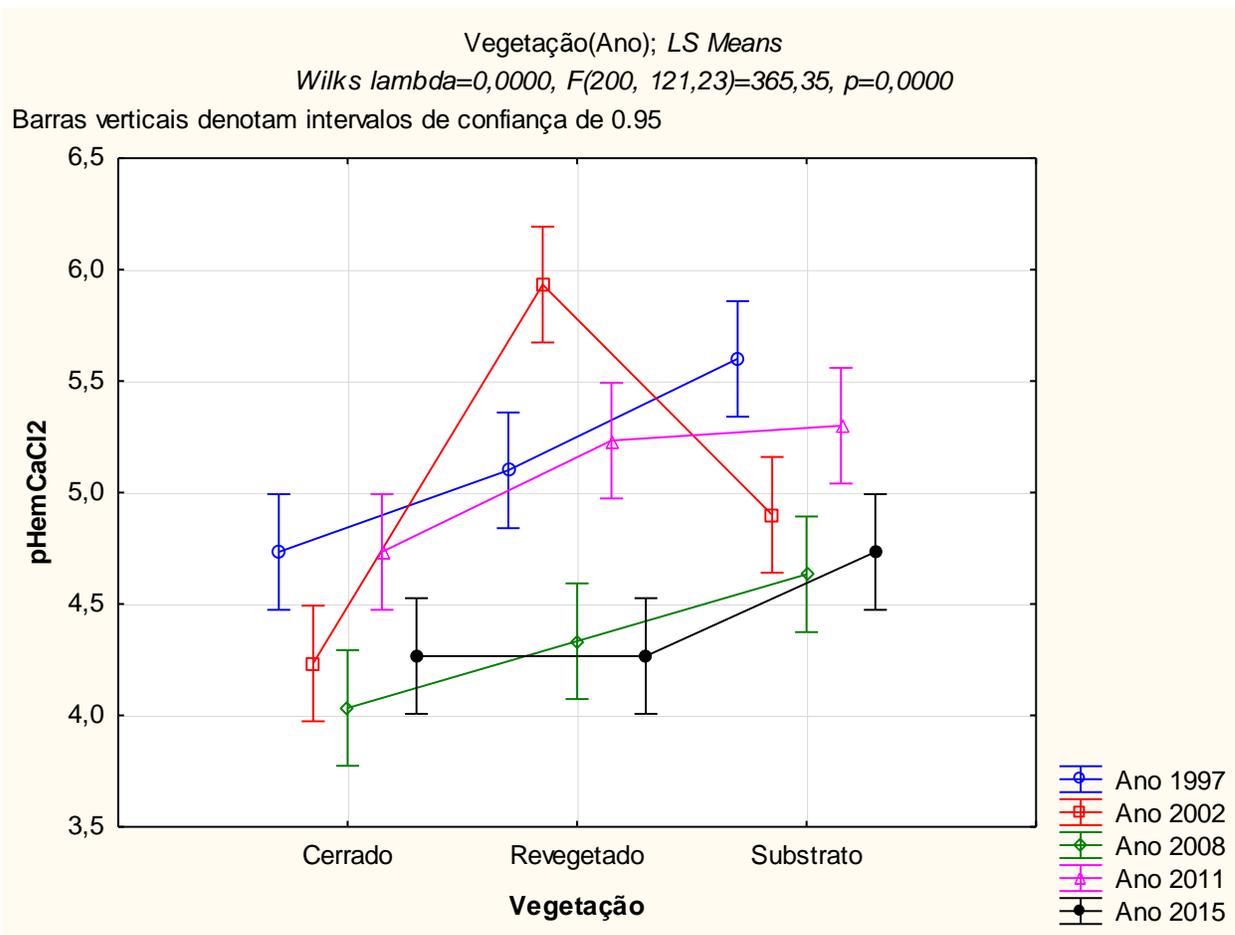


Figura 4. Variação do pH em CaCl₂ entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

A escolha da análise do pH em CaCl₂ ao invés do pH em água decorreu do mesmo apresentar mais valores significativos na análise *Post Hoc*. Com base na análise da Figura 4 e da análoga Tabela 8, nota-se que o pH em CaCl₂ captou uma acidez reduzida no solos nativos de Cerrado e pouca diferença dentro desses tipos de solo. Ademais, de modo geral, o pH foi mais elevado nos solos revegetados do que nos solos de Cerrados. Por sua vez, o controle negativo apresentou pouca distinção com as áreas revegetadas. Chama a atenção o fato de que os substratos expostos referentes à 1997 diferem totalmente de todas as áreas de

Cerrado, enquanto os controles de 2008 são totalmente iguais. Ainda comparando as diferenças entre Cerrado e substratos expostos, e com relação ao substrato referente à 2015, apenas a comparação com o Cerrado de 2008 apresentou distinções.

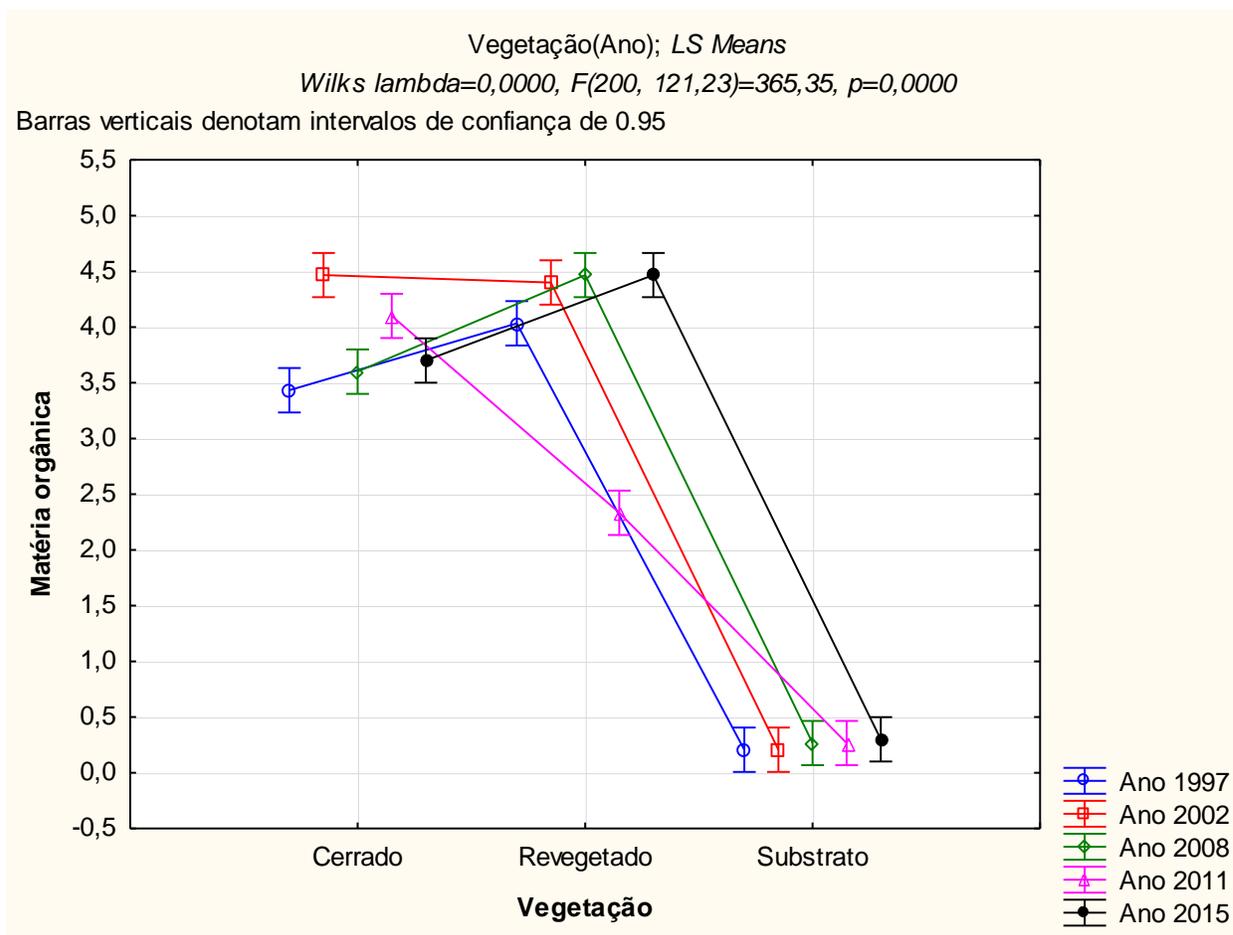


Figura 5. Variação dos teores de matéria orgânica entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

A variação dos teores de matéria orgânica demonstrada na Figura 5 indica poucas alterações quando comparamos o solo sob Cerrado *sensu stricto* e o solo revegetado. Há, porém, uma mudança brusca quando observamos o substrato exposto, havendo uma diferença total entre as áreas, evidenciado os efeitos da remoção da camada fértil do solo,

onde há concentração da maior porcentagem de carbono do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SANTOS et al., 2008).

Por outro lado, a Figura 6 demonstra claramente que a adição de lodo de esgoto em áreas mineradas contribuiu com a elevação dos teores de fósforo total no solo, corroborando com diversos estudos (HUANG, De-Yin, 2010; WU et al., 2012; TORRI, CORRÊA, RENELLA, 2014). As áreas de Cerrado nativo demonstraram a pobreza no total deste elemento similar à uma área minerada, detentora de valores totais mínimos do elemento, conforme o registro da Tabela 2.

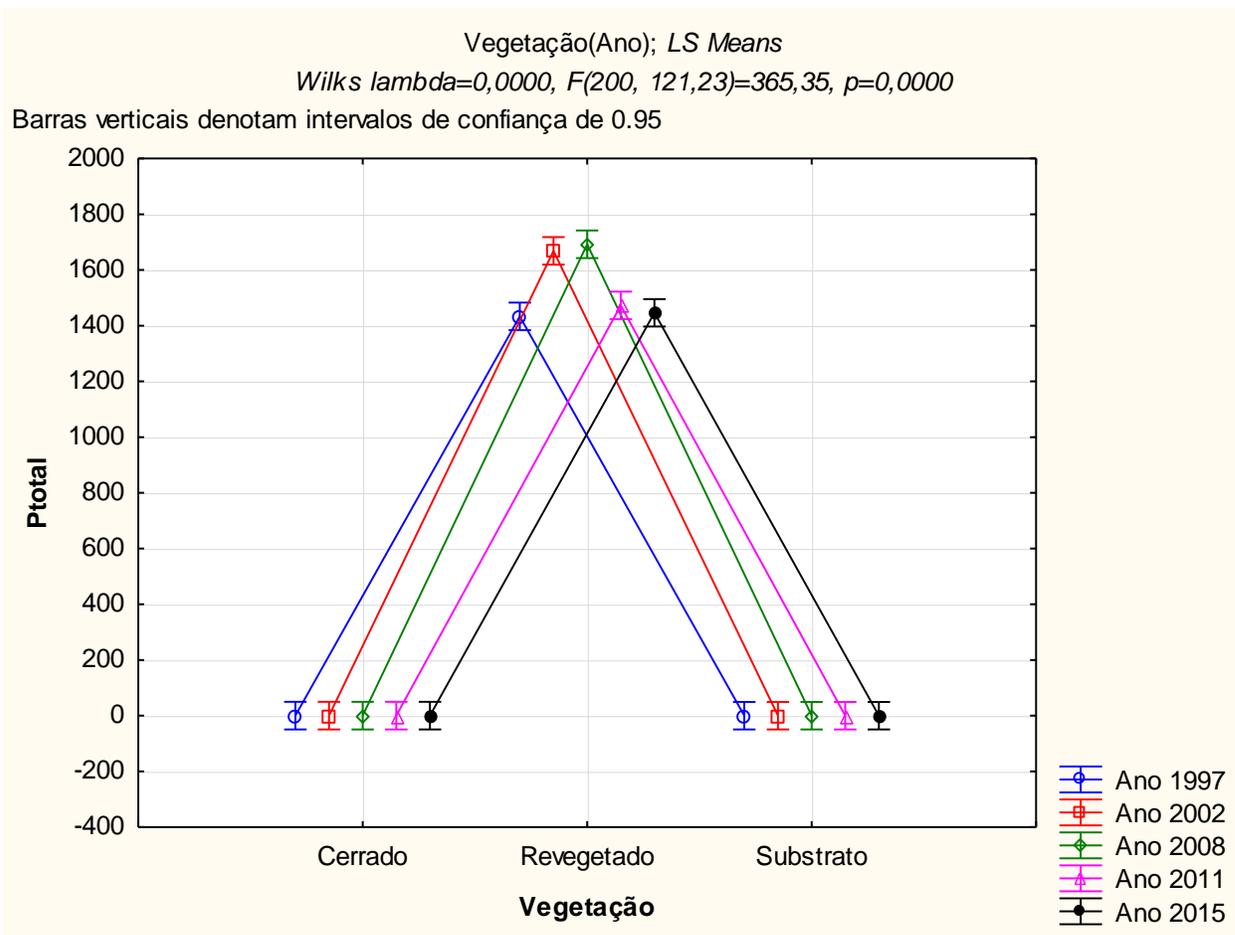


Figura 6. Variação dos teores de fósforo total entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

Por sua vez, a Figura 7 indica que, quando estabelecemos a comparação entre o Cerrado e as áreas revegetadas, os anos de 1997 e 2011 apresentaram igualdade quase sempre, e os demais anos apresentaram diferenças significativas. Porém, apesar de praticamente não haver diferenças significativas dentro das áreas revegetadas, nota-se que numericamente as áreas mais antigas possuem os menores registros. O substrato apresentou os menores valores, mostrando-se sempre diferentes com relação ao Cerrados e, quase sempre, e áreas revegetadas, o que vai ao encontro da lógica de que o nitrogênio é um

elemento altamente móvel, lixiviável e relacionado com a presença e saúde da microbiota do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SANTOS et al., 2008)

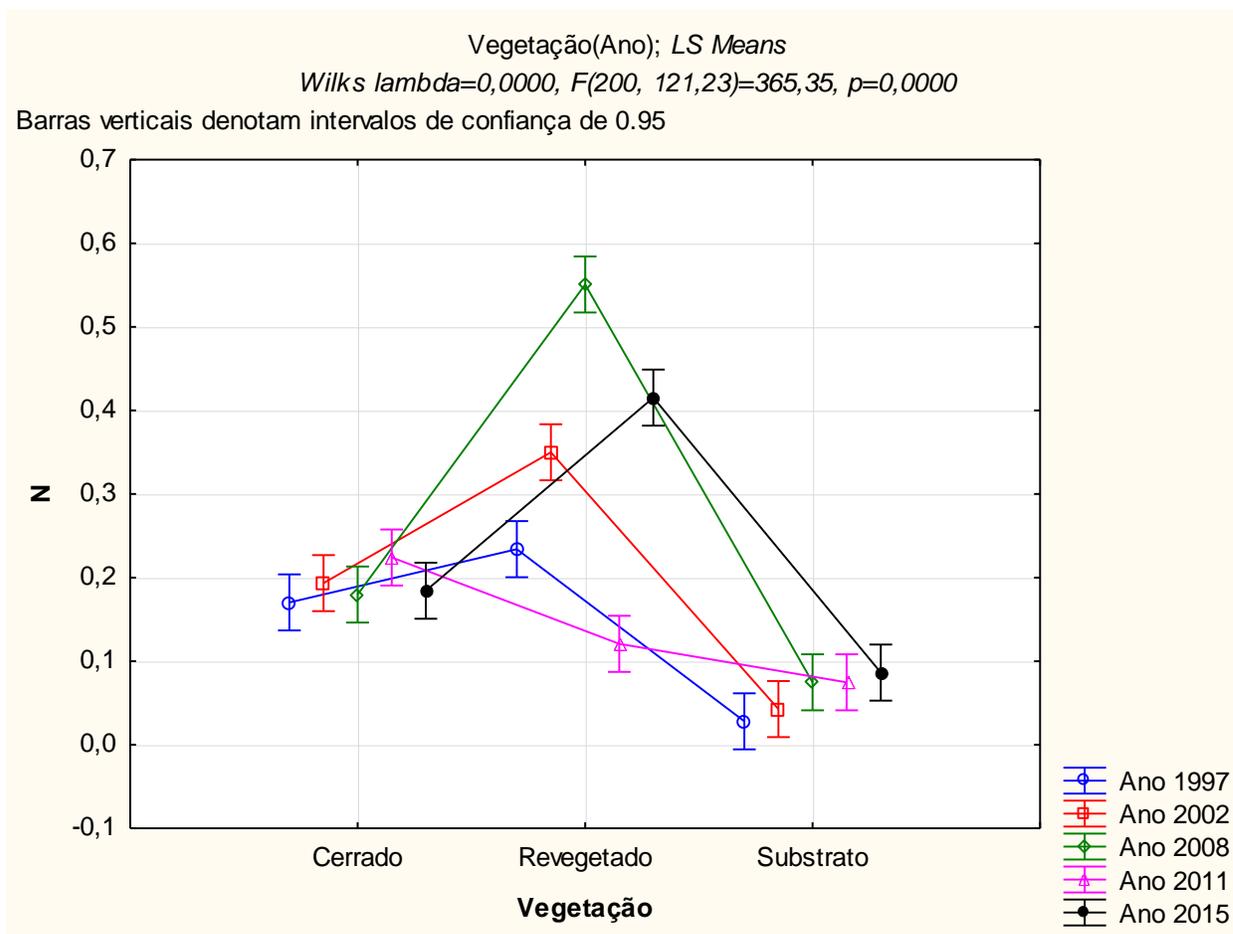


Figura 7. Variação dos teores de nitrogênio entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

Os resultados expostos na Figura 8 demonstram que os tratamentos referentes às datas de 1997 e 2011 são aqueles em que as taxas de potássio no solo pouco apresentaram mudança, tendo como referência o solo de Cerrado. No entanto, os valores de potássio de Cerrado e nas áreas revegetadas foram quase sempre numericamente maiores e estatisticamente distintos que àqueles encontrados nos substratos expostos, evidenciando

a capacidade de elevação do elemento no solo a partir da aplicação de lodo de esgoto no solo.

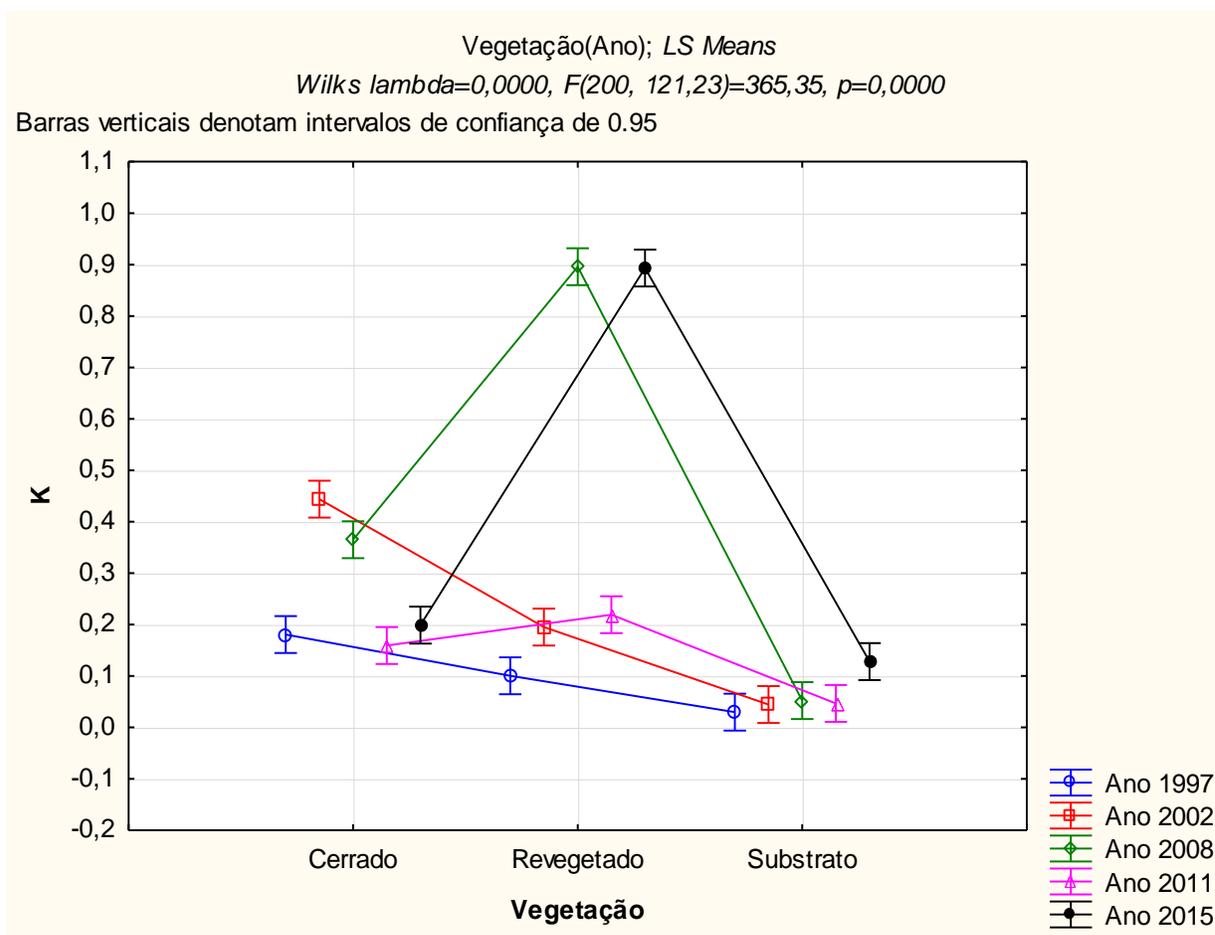


Figura 8. Variação dos teores de potássio entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

Por sua vez, a variação dos valores de enxofre, registrados na Figura 9, indicam que os tratamentos mais antigos apresentaram os menores valores do elemento, enquanto as aplicações mais recentes evidenciaram picos do mesmo. Segundo a tabela 15, os solos de Cerrados apresentaram-se iguais aos controles negativos, enquanto as áreas revegetadas foram majoritariamente distintas de ambos tipos de substrato. A perda de

enxofre com o passar do tempo por eventos de lixiviação e à medida em que o tempo decorre é evidenciada na literatura (NOVAIS, et al., 2007; NOGUEIRA; MELO, 2003).

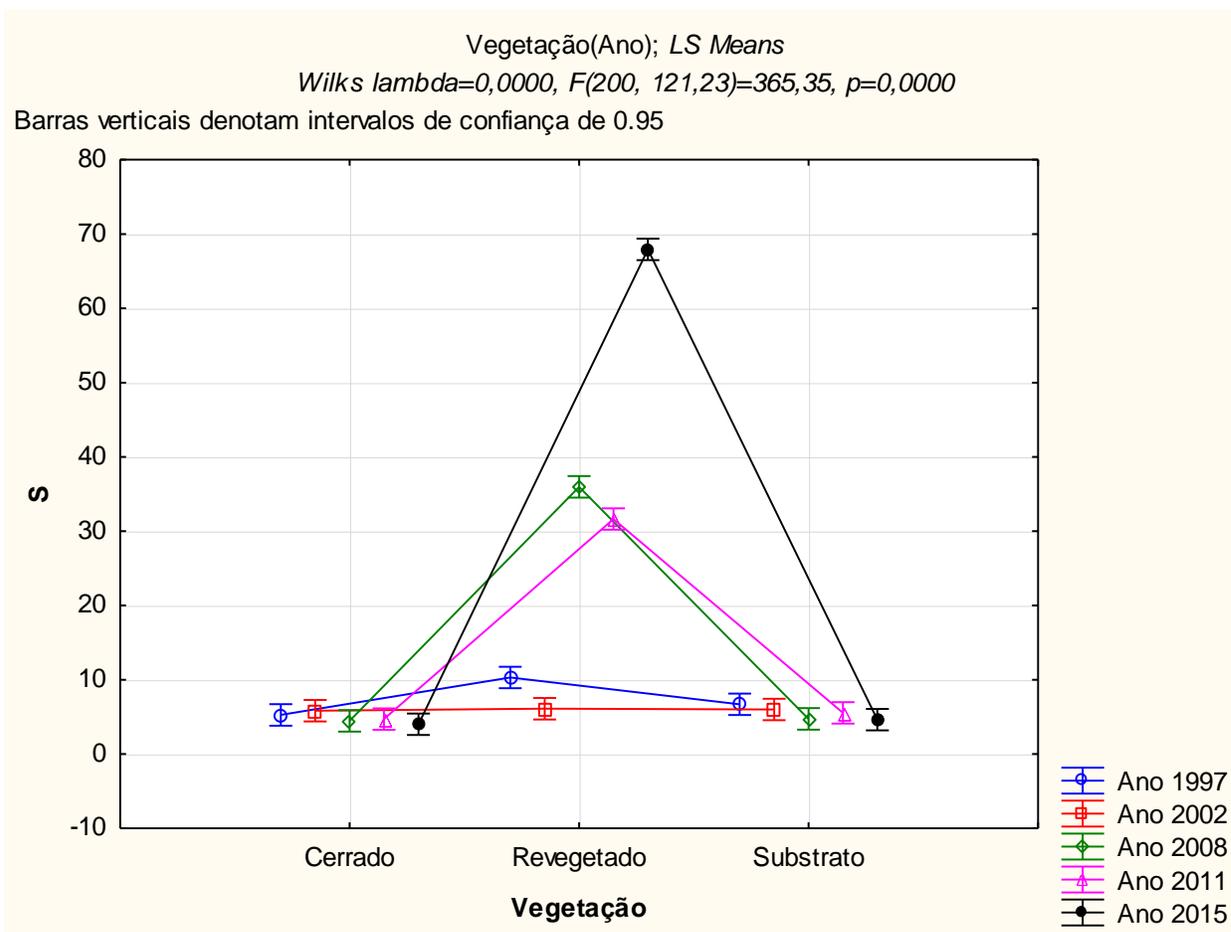


Figura 9. Variação dos teores de enxofre entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

A Figura 10 demonstra que a aplicação de lodo de esgoto contribuiu com o aumento de cálcio no solo. A observação do gráfico e da Tabela 16 indicam também que os solos de Cerrado nativo correspondentes apresentaram valores de cálcio similares àqueles encontrados nos substratos expostos, indicando e corroborando com o fato de que

solos submetidos ao intemperismo intenso, típico de regiões tropicais, apresentam valores reduzidos em suas bases (RESENDE et al., 1999).

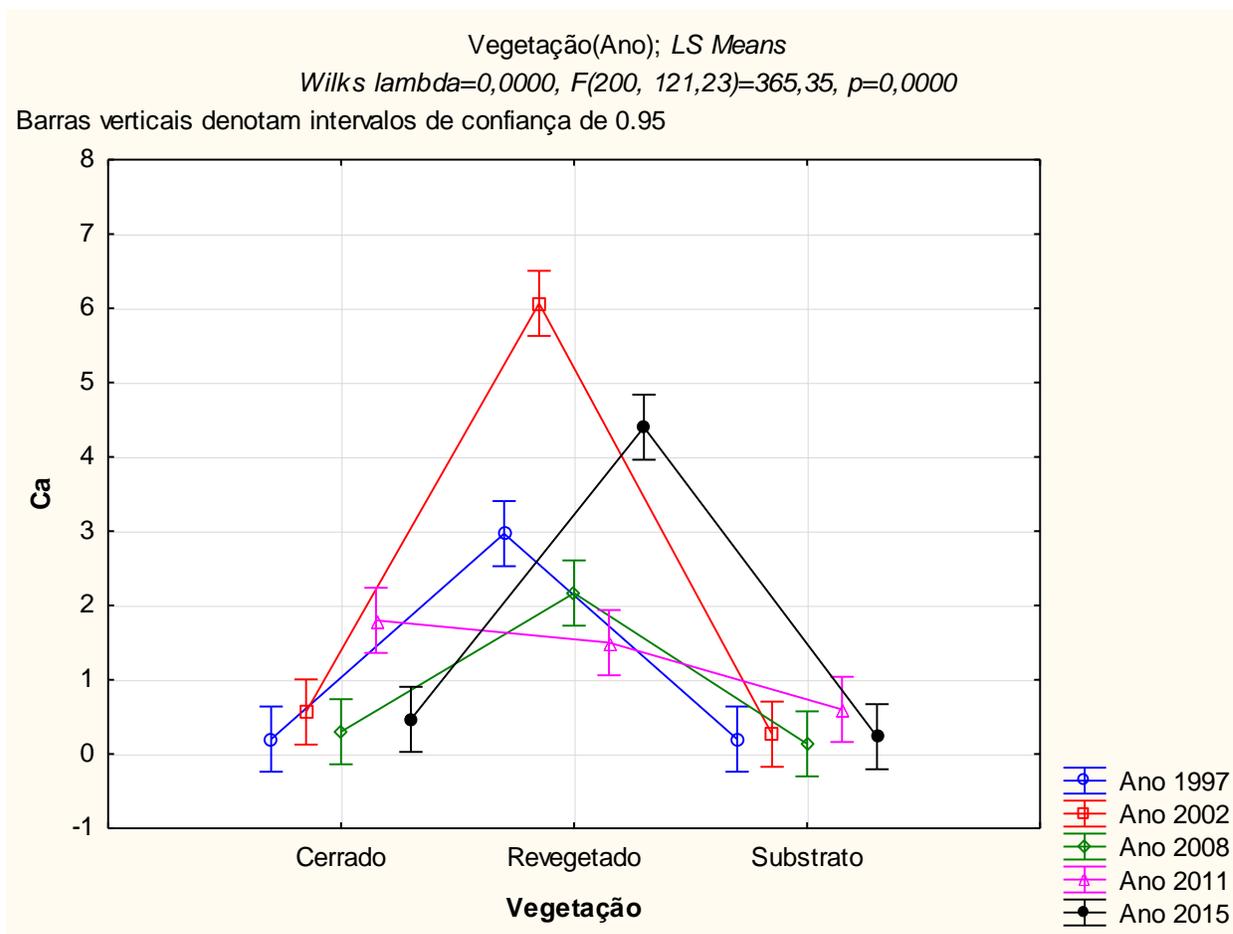


Figura 10. Variação dos teores de cálcio entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

Similar ao comportamento do cálcio, a análise da variação temporal do magnésio na Figura 11 indica que os valores da base em questão são mínimos e, conforme indicado na Tabela 2, comparáveis àqueles encontrados em substratos expostos. Por sua vez, a elevação dos teores de magnésio frente à aplicação de lodo de esgoto demonstra a capacidade do lodo em promover o aumento da base no solo.

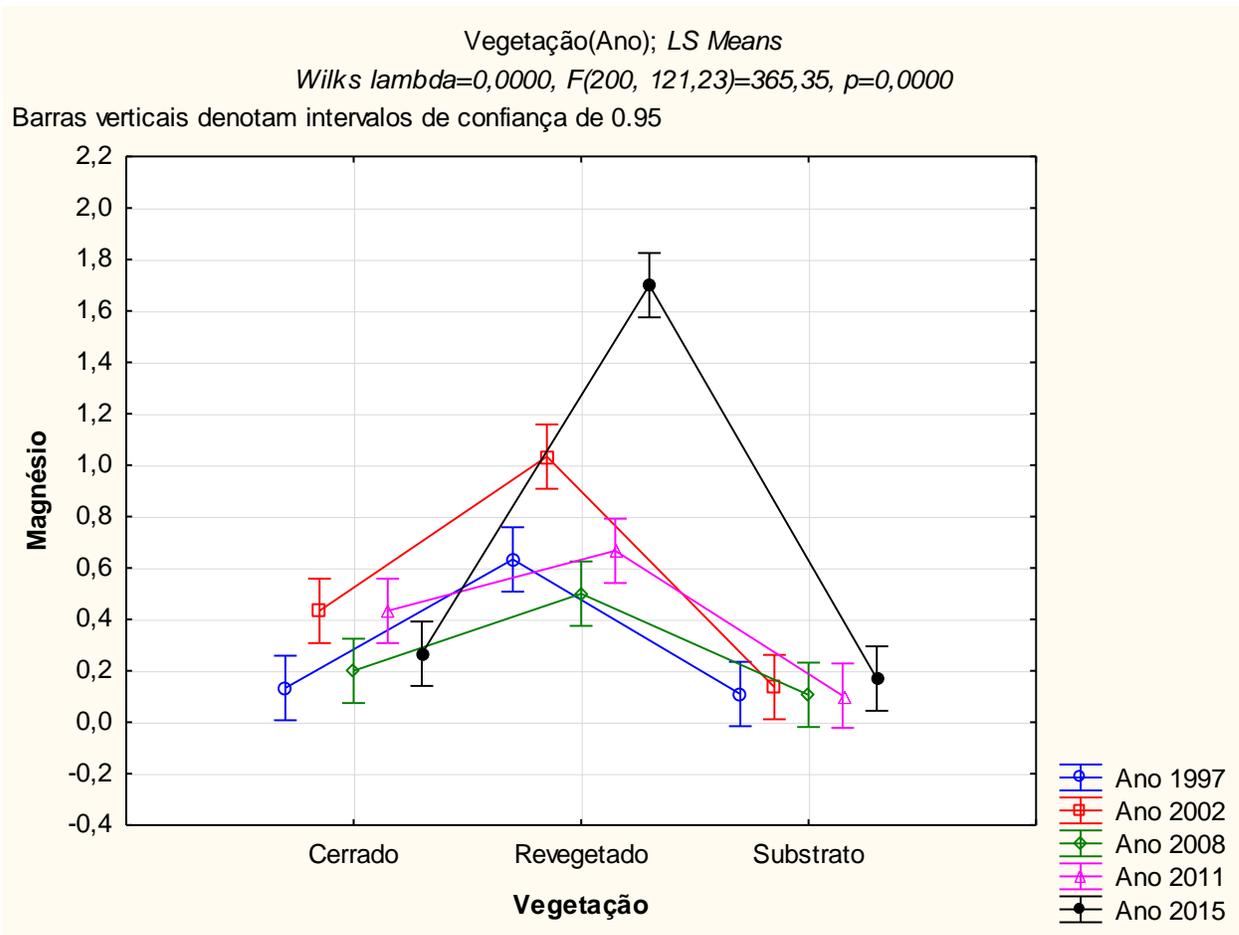


Figura 11. Variação dos teores de magnésio entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

Finalmente, a Capacidade de Troca Catiônica do solo, Figura 12, indicou que solos removidos pela mineração apresentaram as menores capacidades, apresentando-se enquanto estatisticamente distintos com relação aos solos de Cerrado e, quase sempre, quando comparamos com solos revegetados.

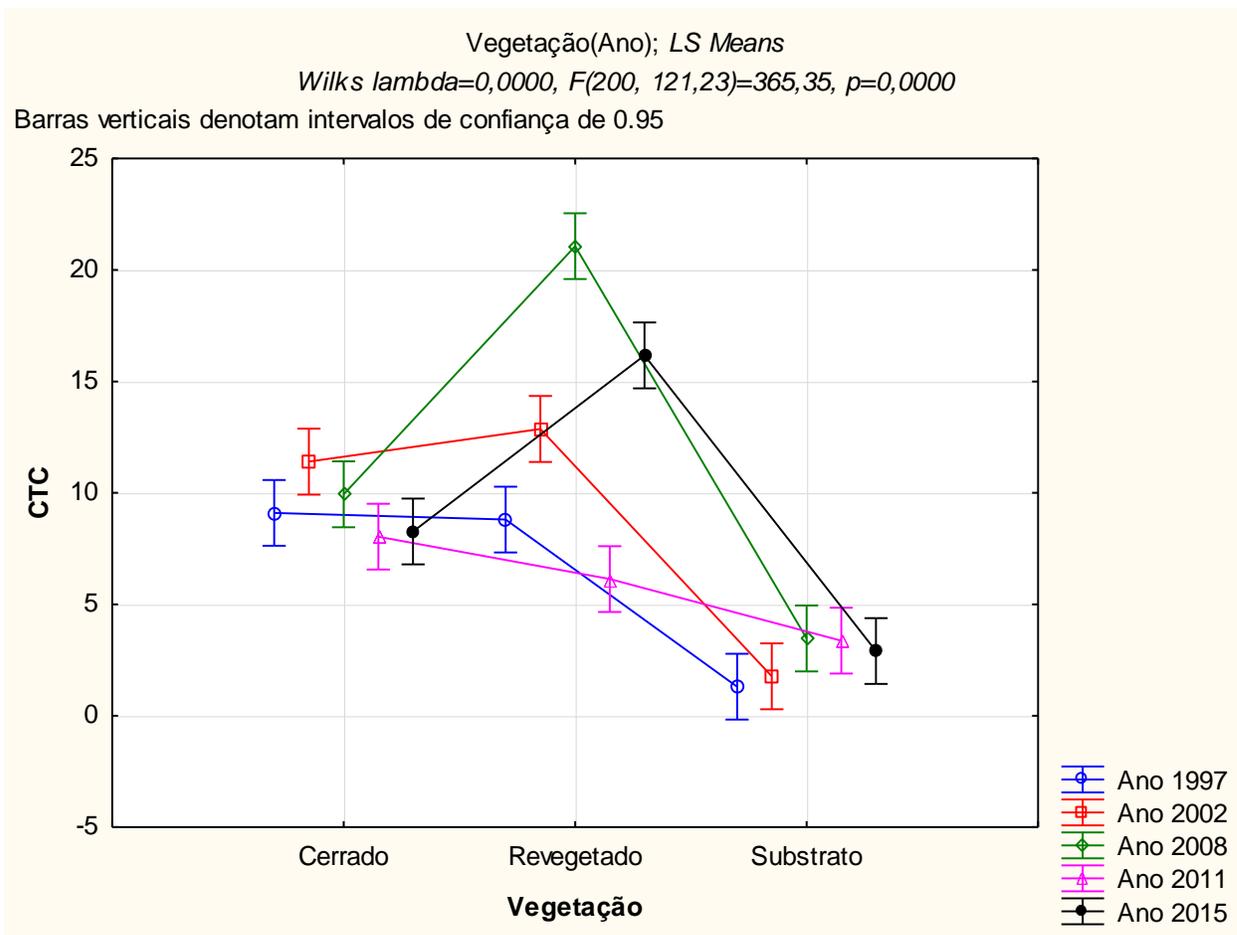


Figura 12. Variação da Capacidade de Troca Catiônica entre os tratamentos avaliados e referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

3.2 Verificação da variabilidade de fósforo remanescente e disponível ao longo do tempo e em áreas distintas

Uma vez que a mensuração do P-remanescente indica a resistência de um solo à mudança em uma unidade de fósforo no substrato (NOVAIS, SMYTH, 1999; EMBRAPA, 2017), a análise da variabilidade de P remanescente e disponível teve o intuito de estabelecer um paralelo entre aquilo que é adicionado no solo e aquilo que de fato se mostra disponibilizado à absorção vegetal. A Análise dos Componentes Principais, aplicada enquanto uma análise reducionista (BOCARD; GILLET; LEGENDRE, 2011), permitiu a

verificação primária dos fatores redundantes e de maior influência na caracterização das áreas ao longo do tempo. Deste modo, com base na figura 13, somente foram avaliadas os seguintes parâmetros: pH em CaCl₂, P-disponível, P-remanescente, P-total, cálcio, magnésio e ferro.

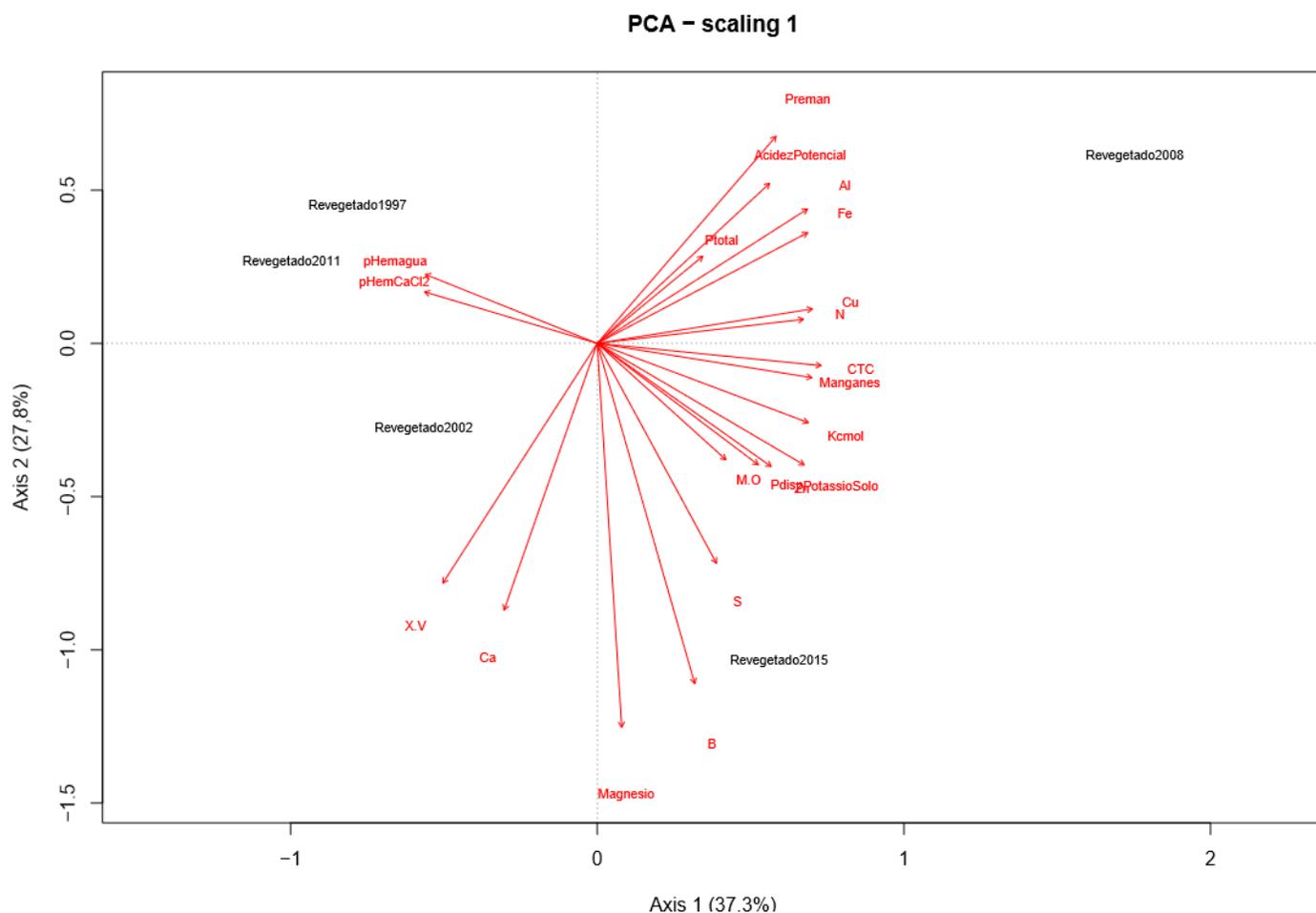


Figura 13. Análise dos componentes principais nas áreas de estudo correspondentes aos tratamentos com lodo de esgoto nos solos em 1997, 2002, 2008, 2011 e 2015. O gráfico demonstra o pouco poder de explicação dos elementos com as menores retas projetadas, além da redundância entre àquelas muito próximas.

Os resultados das análises *Post Hoc* em conjunto com o teste de Tukey para a avaliação conjunta da interação para as variáveis selecionadas após a PCA estão inseridos no Anexo II e foram a base das análises gráficas sequenciais Os valores significantes foram

destacados em vermelho. Deste modo, para um mesmo parâmetro, quanto maior a quantidade visual de destaques, maior a quantidade de alterações significativas integradas.

Conforme a Tabela 5, a análise de variância multivariada demonstrou que a interação dos parâmetros analisados e selecionados sofreu alterações significativas considerando tanto a aplicação do lodo no solo e a alteração de nutrientes, como a interação do lodo em relação aos efeitos do tempo. Em todos os casos o *p*-valor se apresentou em valores menores do que 0.01.

Tabela 5. Teste multivariado de significância (Anova aninhada) *Over-parameterized model Type III decomposition*

	Teste	Graus de liberdade	Erro- graus de liberdade	p -valor
Intercepto	Wilks	7	24	< 0.01
Vegetação -ano	Wilks	70	146.75	< 0.01
Ano	Wilks	28	87.95	< 0.01

Por sua vez, a Tabela 6 demonstra o resultado da estatística univariada, a qual apresenta a análise de valores individuais para cada parâmetro e a interação com o elemento fixo: Nota-se que, considerando uma análise individual, todos os parâmetros foram significativos. Porém, a avaliação *Post Hoc*, exposta no Anexo II, evidencia de modo detalhado como a relação interativa ocorre.

Tabela 6 Resultados da ANOVA univariada para os parâmetros químicos selecionados. *Over parameterized model; Type III decomposition.*

Valores em vermelho apresentaram-se significantes, com 95 % de confiança.

	Interação vegetação-ano	Ano
Graus de liberdade	10	4
	<i>(p- valor)</i>	<i>(p- valor)</i>
pHemCaCl2	< 0.01	< 0.01
P-disp	< 0.01	< 0.01
P-reman	< 0.01	< 0.01
P-total	< 0.01	< 0.01
Ca	< 0.01	< 0.01
Magnésio	< 0.01	< 0.01
Fe	< 0.01	< 0.01

A relação da interação entre os parâmetros avaliados é expressa nos gráficos abaixo, demonstrando que, majoritariamente, a aplicação de lodo de esgoto nos substratos minerados em questão provocou alterações positivamente significativas.

Tendo em base as análises da Tabela 28 e da Figura 14, observa-se que a adição de lodo de esgoto no solo demonstrou capacidade mediana em elevar o pH do solo, tanto quando comparamos o solo revegetado com o Cerrado, como com o controle negativo. Deste modo, tendo em base as comparações com os solos de Cerrado, os anos que mais sofreram alterações foram os anos de 2002 e 2008, com alterações positivas. Por outro lado, colocando o substrato enquanto base de comparações, as maiores diferenças ocorreram para os anos de 1997, 2002 e 2008.

Por outro lado, a Figura 15 indica que os solos revegetados registraram, majoritariamente, a elevação nos teores de P remanescente. Em todos os solos a comparação entre os valores encontrados para o substrato exposto e para o Cerrado *sensu stricto* indicam que os solos nativos são dotados de menores valores do fósforo em questão. Somente o solo

referente ao tratamento de 2002 apresentou valores de fósforo remanescente maiores no solo revegetado do que no substrato.

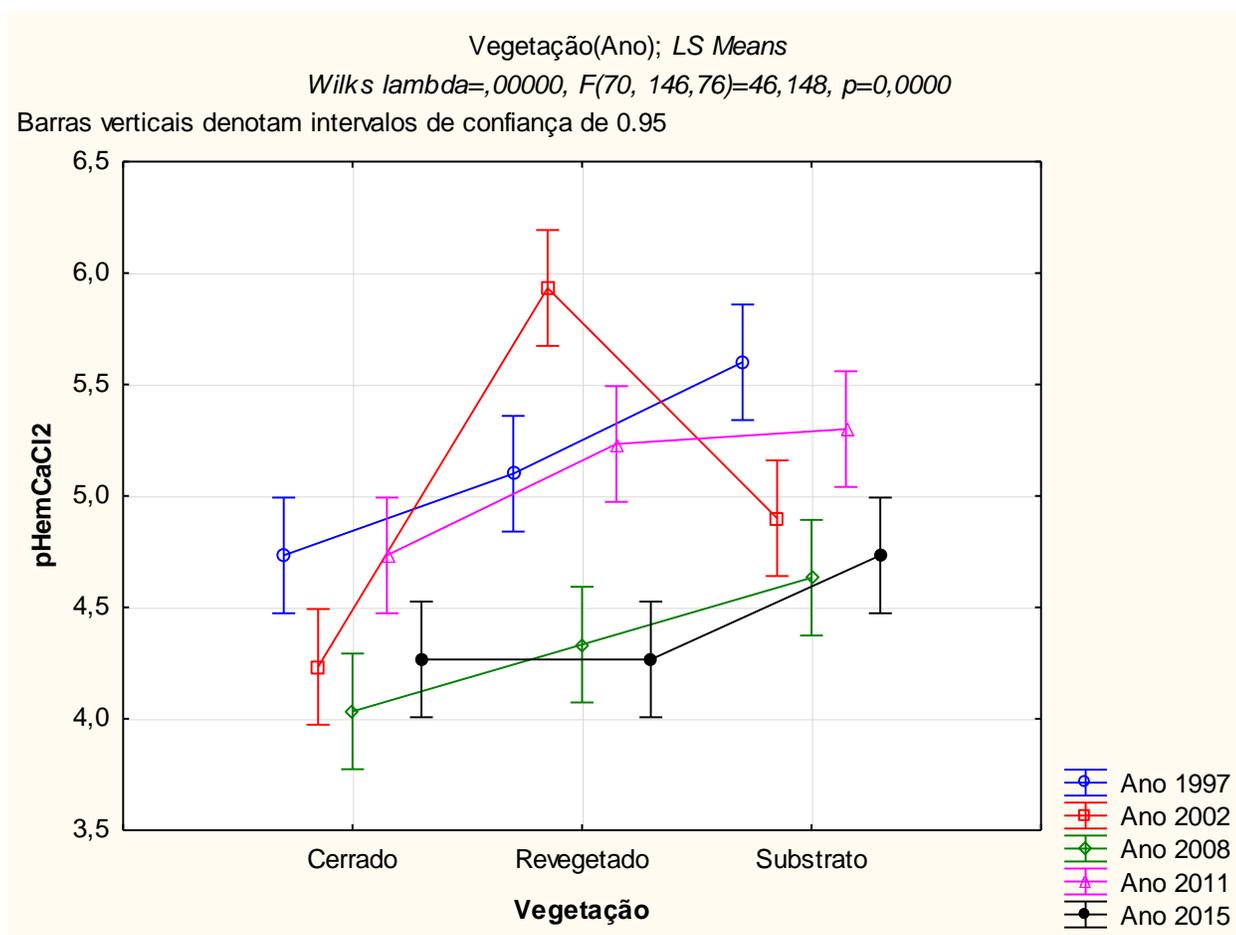


Figura 14. Variação do pH em $CaCl_2$ entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

No entanto, a Figura 15 indica que os solos revegetados registraram, majoritariamente, a elevação nos teores de P remanescente. A maior parte dos solos de Cerrado diferem entre si e, do mesmo modo, as comparações estabelecidas entre solos dos diferentes ambiente.

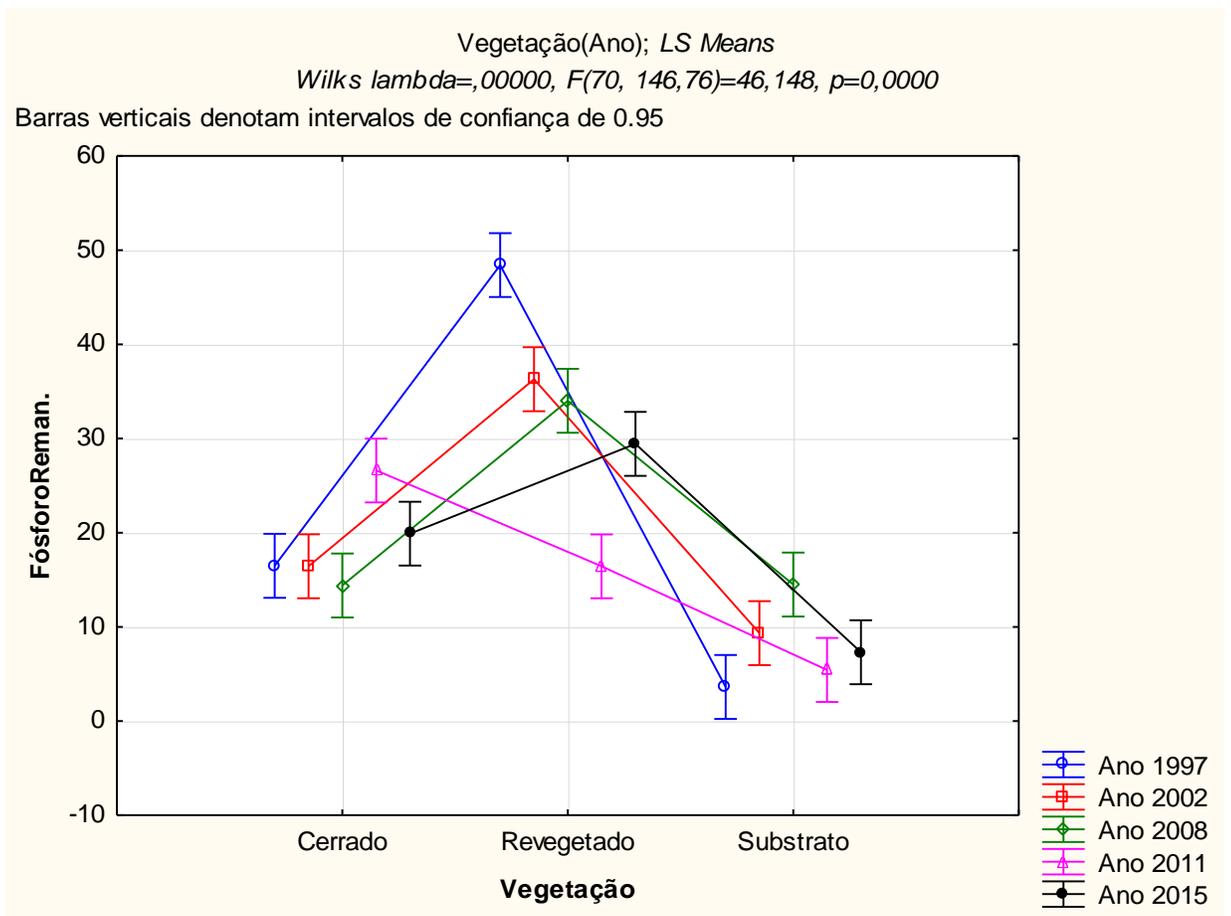


Figura 15. Variação dos teores de fósforo remanescente entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

Por sua vez, os valores de fósforo disponível, indicados na Figura 16, indicam que o lodo é capaz de adicionar ao solo fósforo disponível, apresentando para todos os casos diferenças significativas dos solos revegetados em comparação com todos os solos de Cerrado e os substratos expostos. Numericamente falando, a área mais antiga é referente ao tratamento de 1997, seguida pelo tratamento relativo à data de 2002. Mais uma vez, o solo sob Cerrado demonstrou igualdade ao substrato quanto à disponibilização de nutrientes.

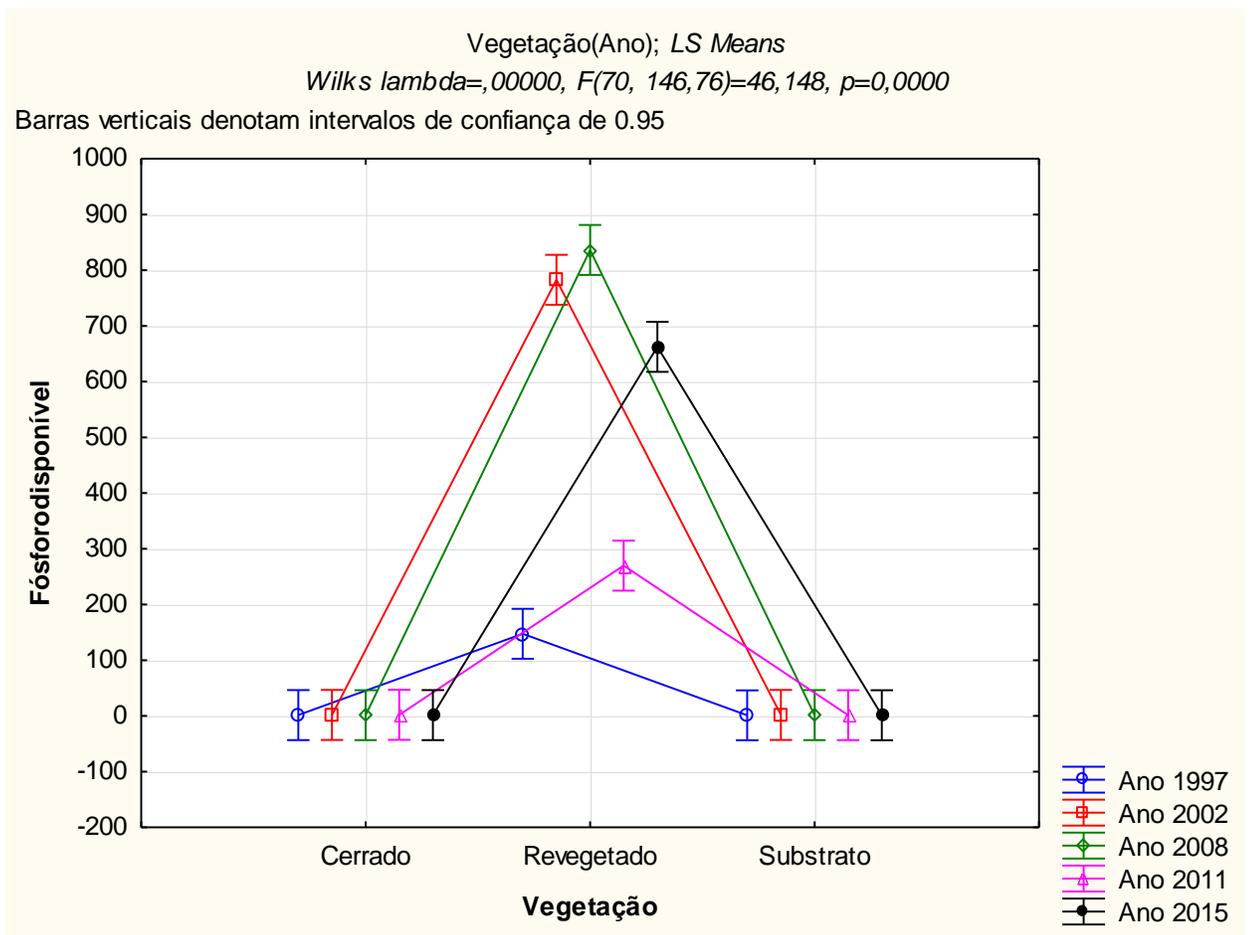


Figura 16. Variação dos teores de fósforo disponível entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

Assim como a Figura 6, que considerou a análise da interação de todos os valores apresentados na Tabela 2, para a avaliação dos teores de fósforo total, a Figura 17 também demonstrou de modo bem definido que o lodo de esgoto aumentou os registros do fósforo total nas áreas tratadas com lodo de esgoto. A Figura 17 demonstra, mais uma vez, que o solo de Cerrado é extremamente pobre quando analisamos a totalidade de fósforo no

substrato nativo, apresentando igualdade estatística com aqueles expostos pelo controle negativo.

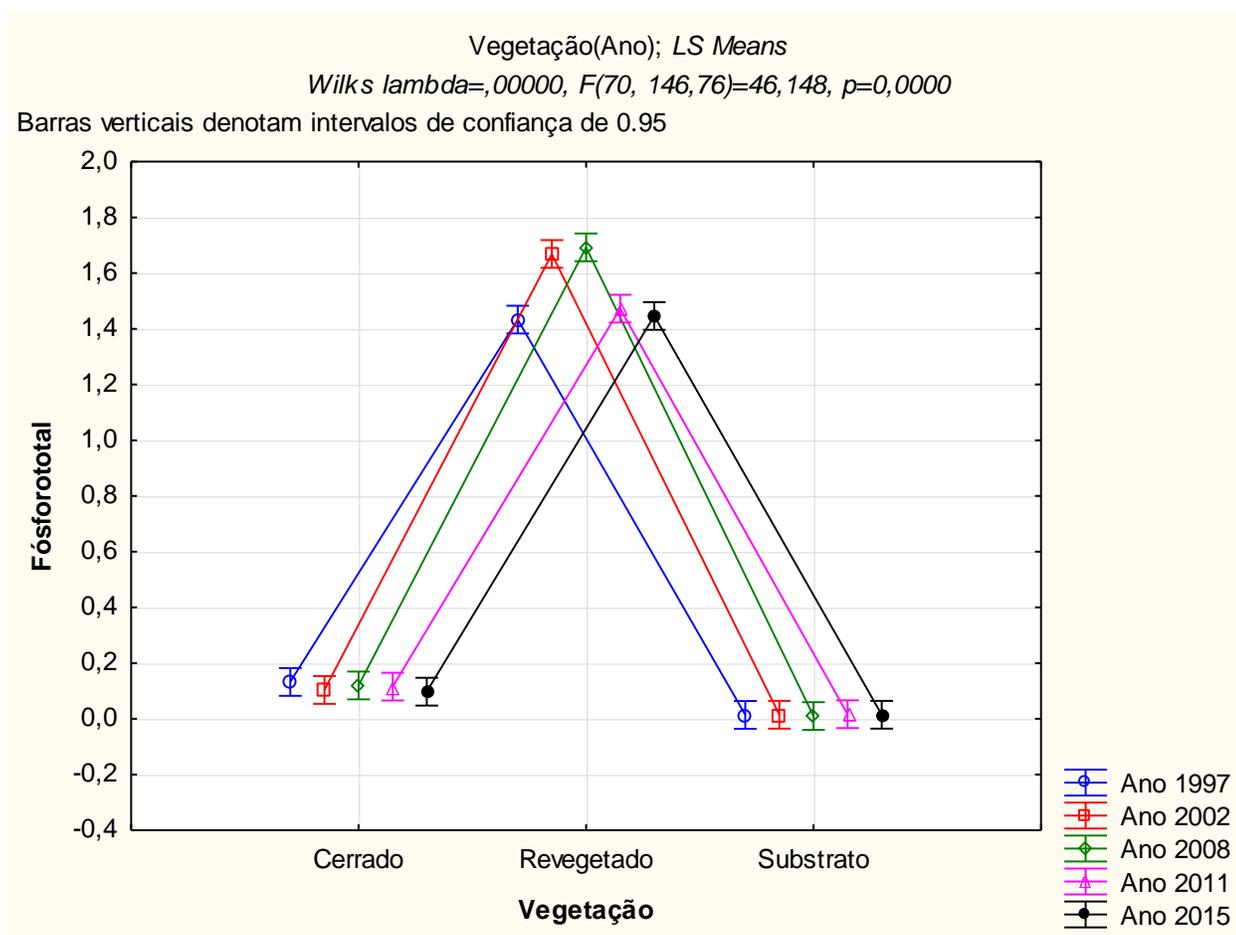


Figura 17. Variação dos teores de fósforo total entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

Seguindo uma lógica similar à apresentada na Figura 10, o efeito do tempo sobre variação de cálcio indicada na Figura 18 indica que o solo de Cerrado possui pouca disponibilidade de cálcio, apresentando majoritariamente um comportamento correspondente ao registrado para as áreas de controle negativo. Por outro lado, solos

submetidos ao tratamento com lodo de esgoto apresentaram-se, majoritariamente distintos tanto entre si, quanto com relação aos controles.

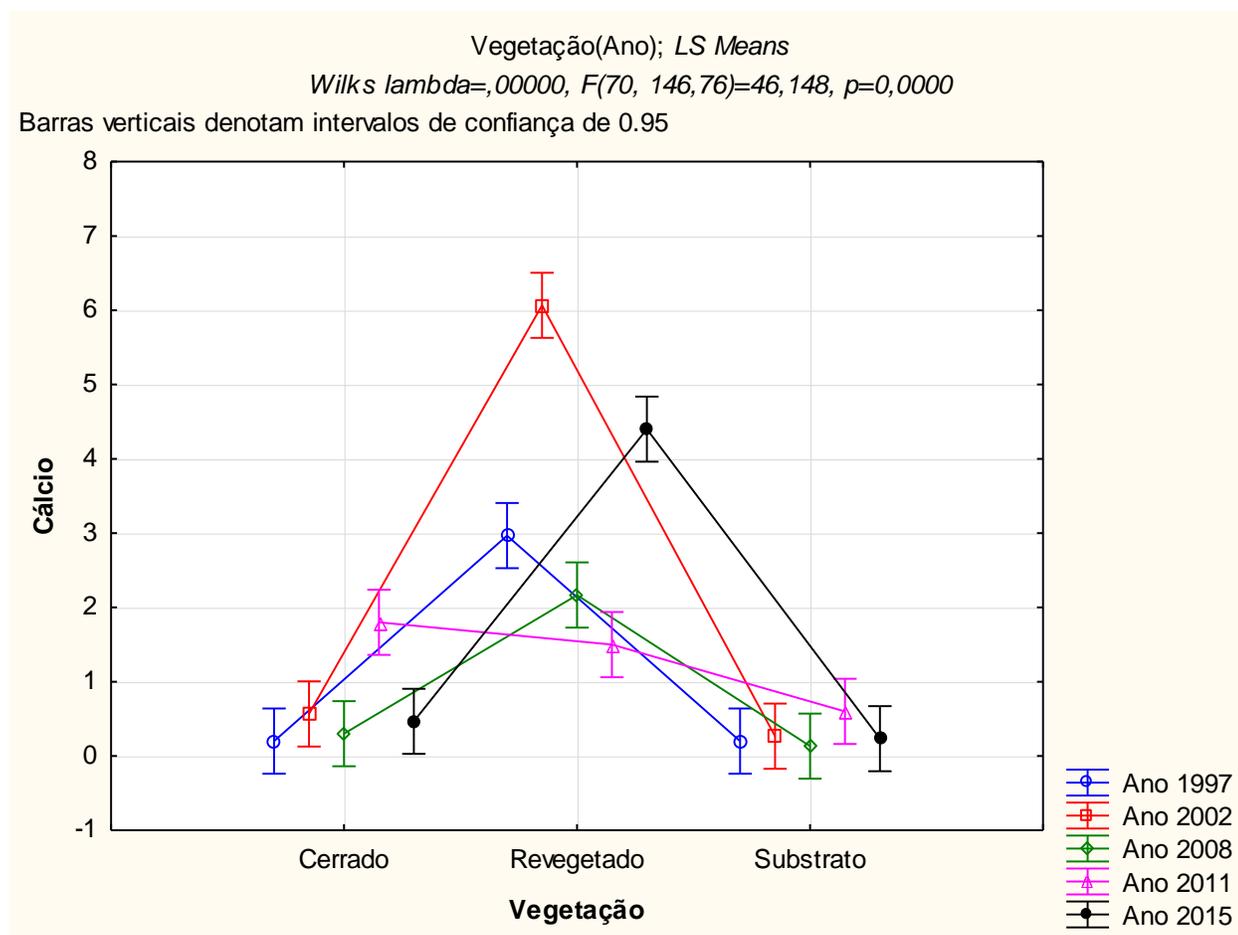


Figura 18. Variação dos teores de cálcio entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

Novamente em paralelo com as Figuras 10 e 11, o efeito do tempo sobre variação de cálcio indicada na Figura 18 e 19 indica que o solo de Cerrado possui pouca disponibilidade de cálcio e magnésio, apresentando comportamento similar ao registrado para as áreas de controle negativo, onde a maioria das áreas demonstrou igualdade estatística. Por outro

lado, solos submetidos ao tratamento com lodo de esgoto apresentaram, de modo variável a elevação nas bases em questão.

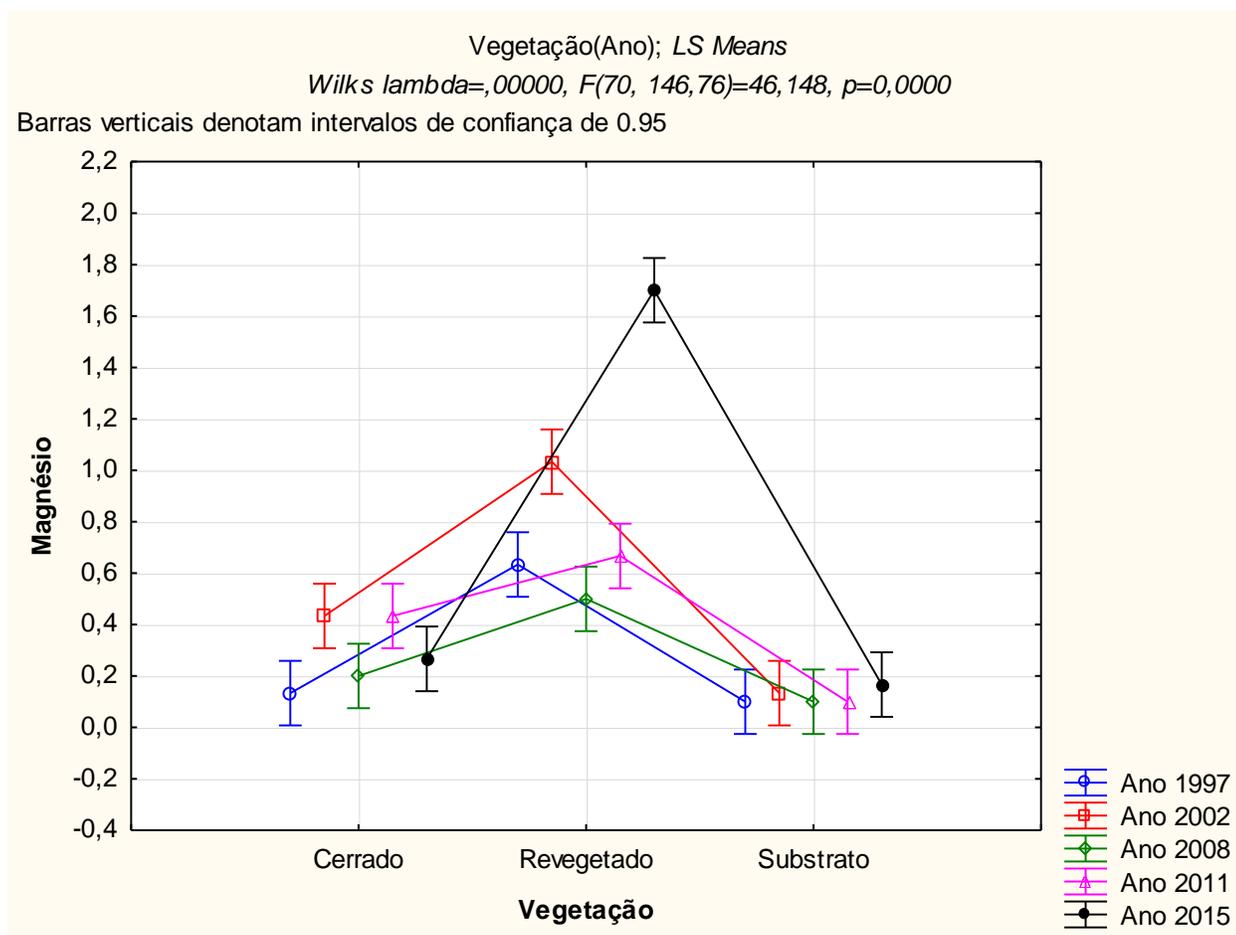


Figura 19. Variação dos teores de magnésio entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

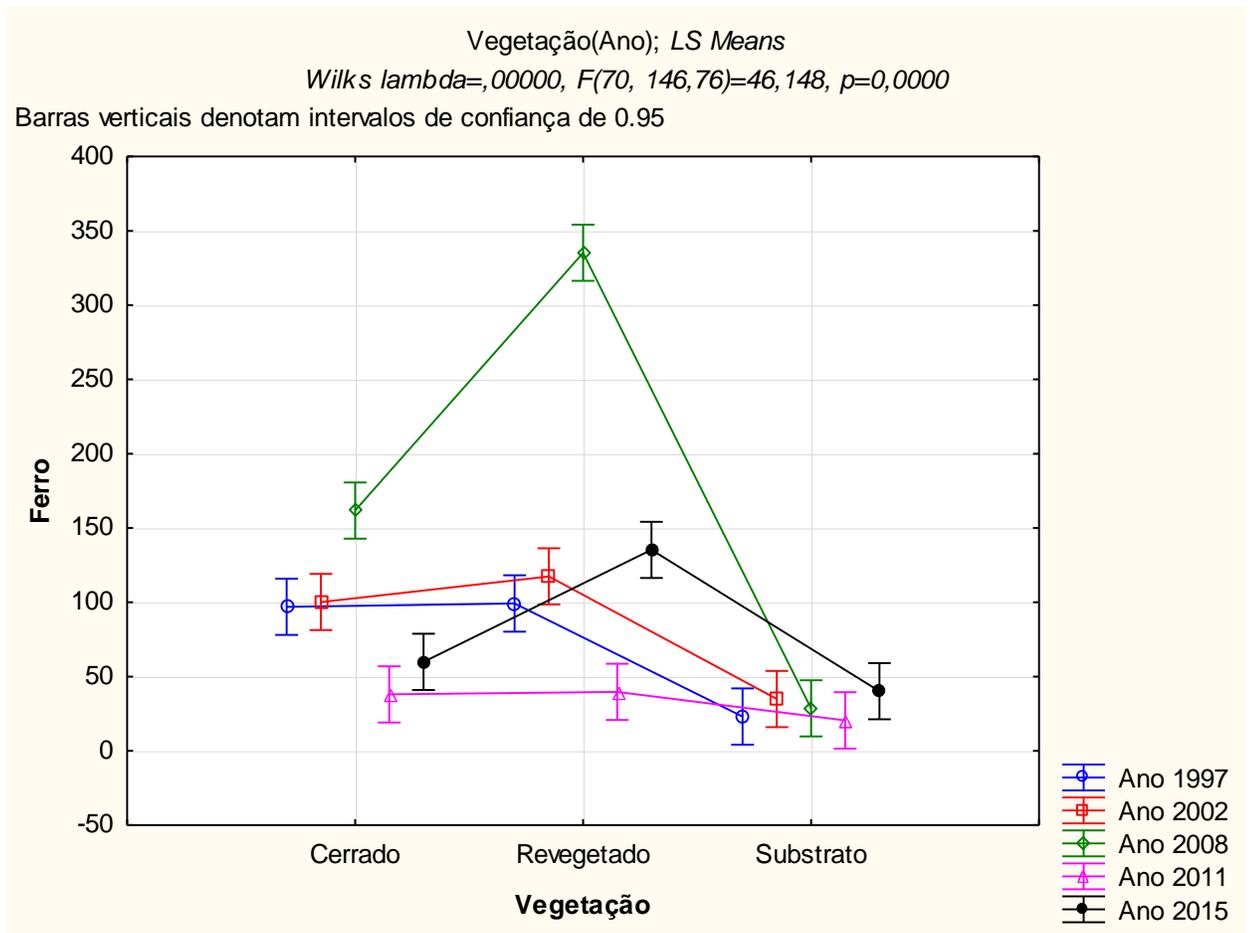


Figura 20. Variação dos teores de ferro entre os tratamentos avaliados e selecionados, os quais são referentes aos anos de 1997,2002,2008,2011 e 2015 considerando o solo de Cerrado *sensu stricto* (controle), solo tratado e revegetado após o tratamento com lodo de esgoto e substrato exposto (controle negativo).

Finalmente, a análise dos teores de ferro apresentadas na Figura 20 indicam que os solos revegetados a partir da adição de lodo de esgoto apresentaram um comportamento desuniforme quanto à elevação ou manutenção dos teores de ferro por meio do tratamento com o lodo, quando estabelecemos uma comparação com o solo de Cerrado nativo. Por outro lado, para todas as comparações entre tratamentos distintos, os solos de substrato

apresentaram valores reduzidos do elemento. A maioria dos diferentes tipos de solo demonstrou diferenças entre si.

A última análise, RDA, foi realizada com o intuito de averiguar a significância da relação entre as variáveis que mais caracterizam as áreas tratadas – P total, P disponível, P remanescente, pH em CaCl₂, Ca, Mg e Fe-, dividindo-as entre predictoras e respostas. O intuito do teste foi verificar qual dos tipos de fósforo mais contribuem com o fósforo total: a fração de fósforo disponível ou remanescente. Considerando uma significância de 5% e a hipótese nula afirmativa sobre a significância das relações, os agrupamentos testados foram os dois seguintes:

1. Variáveis predictoras: pH em CaCl₂, Ca, Mg, Fe e P-disponível;

Variáveis resposta: P-remanescente e P-total;

2. Variáveis predictoras: pH em CaCl₂, Ca, Mg, Fe e P-remanescente;

Variáveis resposta: P-disponível e P total.

Apenas a relação preditora referente ao P disponível e P total se mostrou significativa, com p valor de 0.05. Neste caso, as variáveis que mais contribuíram com o P disponível foram o Ca e o pH do solo, conforme evidenciado pelas figuras 21 e 22 em seus eixos de maior importância.

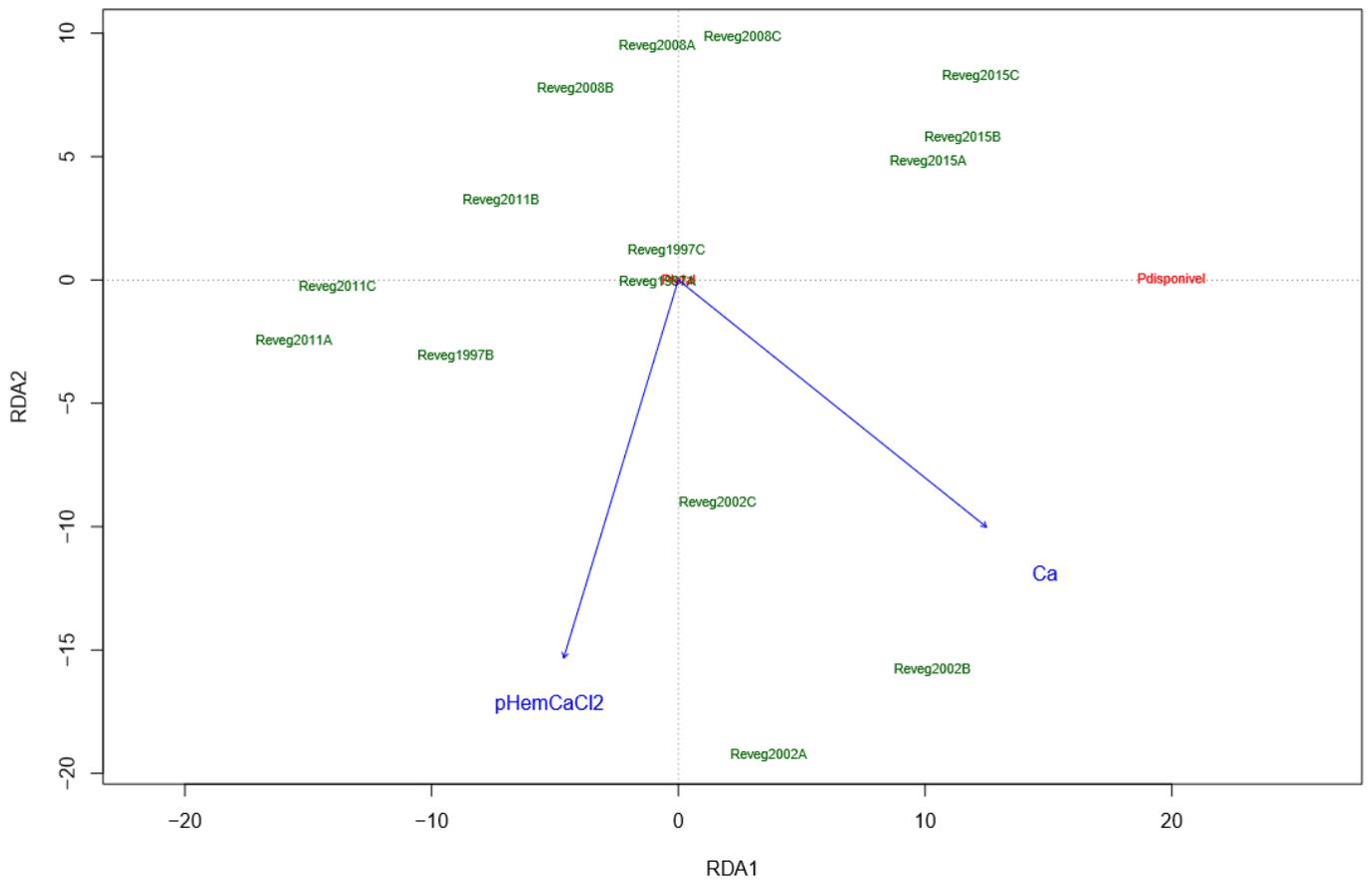


Figura 21. Análise de Redundância evidenciando os parâmetros que mais se comportam enquanto preditoras do P disponível e total. Dentro das variáveis selecionadas, aquelas com maior capacidade preditora foram o pH e o Cálcio.

Para o caso do P remanescente e total enquanto variáveis resposta, as variáveis que mais explicaram esses parâmetros foram o P disponível e o pH.

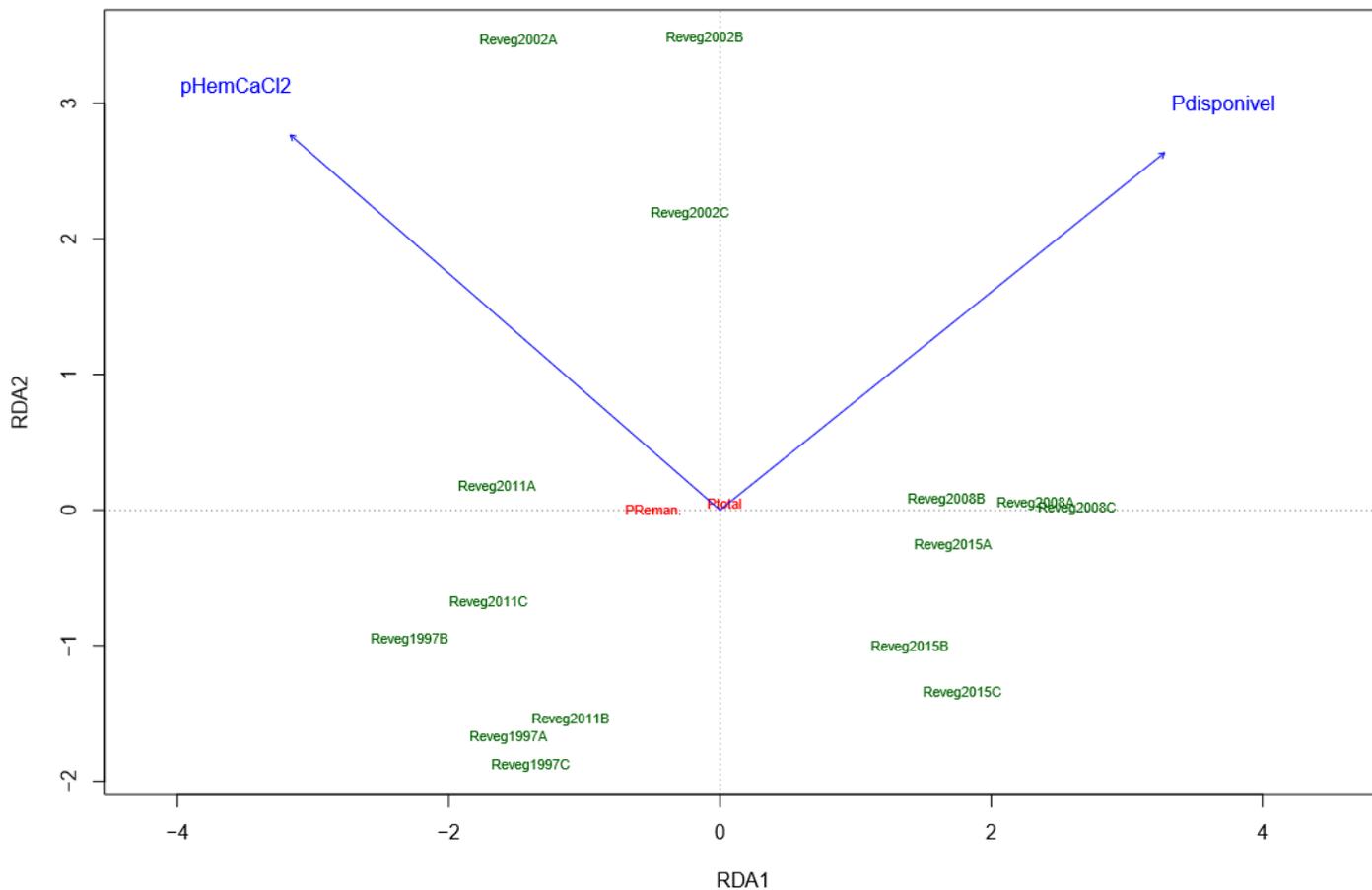


Figura 22. Análise de Redundância evidenciando os parâmetros que mais se comportam enquanto predictoras do P disponível e total. Dentro das variáveis selecionadas, aquelas com maior capacidade predictoras foram o pH e o P disponível.

4. DISCUSSÃO

4.1 Verificação da qualidade geral de solos recuperados a partir da aplicação de lodo de esgoto

A análise conjunta dos resultados indicou que os principais parâmetros indicadores de fertilidade (EMBRAPA,2006; NOVAIS, et al., 2007) se elevaram ao longo do tempo para cada área em questão. De um modo geral, a adição de distintas doses de lodo de esgoto favoreceu a elevação de bases, do pH, CTC, e matéria orgânica do solo, corroborando com

diversos estudos acerca da capacidade de melhora de determinados parâmetros químicos do solo a partir da adição de lodo (SUTTON; DICK, 1987; BRADSHAW, 1996; NOBILE, 2019).

No entanto, a avaliação individual de cada parâmetro químico demonstrou que, em alguns casos, para a análise de um mesmo parâmetro houve um comportamento desuniforme no conjunto dos tratamentos. Quando analisamos os efeitos da adição do rejeito urbano sobre o pH do solo, Figura 4, notou-se que muitos dos tratamentos demonstraram o pH mais elevado para comparações específicas com relação ao substrato exposto e às áreas revegetadas frente aos solos de Cerrado. Porém, não foi possível estabelecer uma linha de explicações uniformes.

Com relação ao Cerrado, as áreas revegetadas que apresentaram maior quantidade de diferenças foram os anos de 2002, 2008 e 2015. A adição das bases, Ca, Mg e K, explicariam a elevação do pH, enquanto a redução da matéria orgânica do solo, em consequência da remoção total da vegetação, justifica a elevação do pH em solos com substrato exposto, visto que a produção de ácidos orgânicos decorrentes de atividades metabólicas de microrganismos é excluída ou reduzida drasticamente a partir da mineração (LONGO; RIBEIRO; MELO, 2005; ANDERSON; INGRAM; STAHL, 2008).

Analisando as variações nos teores de matéria orgânica do solo, Figura 5, notou-se um comportamento bem definido e uniforme entre as áreas que obtiveram adição de resíduos orgânicos: os solos nativos - com incremento histórico de materiais orgânicos – e as áreas decapeadas. Assim, aquelas áreas com algum tipo de incremento orgânico mostraram teores químicos próximos entre si, enquanto os controles negativos

demonstraram uma queda brusca nos respectivos valores, corroborando com o princípio básico do tratamento de solos com o lodo de esgoto: a adição de matéria orgânica no solo (LOOSDRECHT; BRDJANOVIC, 2014; TORRI; CORRÊA; RENELLA, 2014).

Em solos mais intemperizados, como os típicos tropicais, as substâncias húmicas - componentes da matéria orgânica - contribuem significativamente para a densidade das cargas negativas de superfície do solo (SANTOS et al., 2008). Indo ao encontro com os autores citados, evidenciou-se também a contribuição da adição de matéria orgânica no substrato em questão para a resultante neutralização de cargas positivas, como os íons de Al e de Fe, diretamente conectados à imobilização de nutrientes no solo (RESENDE et al., 1999).

O Fósforo total adicionado no solo, Figura 6, também demonstrou um incremento significativo nos tratamentos, marcando uma diferenciação bem delimitada entre os solos revegetados com relação aos nativos e os substratos expostos e, indo ao encontro de diversas constatações que afirmam a capacidade do lodo de esgoto em elevar os teores deste nutriente no solo (NOBILE et al., 2019). Os valores de fósforo total no Cerrado e no substrato exposto mostraram-se no mesmo patamar, demonstrando que, em termos de quantificação total de fósforo, os solos avaliados são equiparados às áreas mineradas.

Por outro lado, excluindo-se o ano de 2011 e considerando a comparação de áreas revegetadas com solos de Cerrado, todas as áreas revegetadas registraram aumentos variáveis nos níveis de nitrogênio, Figura 7. Considerando que os teores de nitrogênio no solo são também regulados pela saturação de água no mesmo (NOVAIS et al., 2007), uma provável explicação para a variabilidade do elemento em questão, segundo o tratamento,

seria a compactação do solo em alguma camada. Um solo compactado influencia negativamente na capacidade de percolação da água, impedindo a drenagem apropriada e, eventualmente, promovendo a saturação indevida do substrato, tendo como consequência a volatilização do nitrogênio (EMBRAPA, 2006b).

Quando analisamos as variações temporais do potássio nos solos revegetados estabelecendo a comparação com os controles, é possível notar que a área mais antiga, 1997, possui a menor quantidade de alterações. No entanto ainda assim, a grande maioria dos tratamentos e áreas se diferenciou. Numericamente, notam-se dois comportamentos, onde um par de tratamentos, os mais antigos (1997 e 2002), registraram os menores teores e variações; enquanto o outro grupo, com aplicações de lodo mais recentes (2008, 2011 e 2015) registraram picos na disponibilidade do elemento. Em todos os casos, os menores valores ocorreram para os substratos expostos.

Partindo da premissa de que o potássio concorre com outros sítios de absorção, com destaque para o Ca^{2+} e Mg^{2+} , na membrana plasmática de organismos no solo, além de ser lixiviável mediante uma CTC reduzida (NOVAIS et al., 2007), observou-se que as áreas que registraram os maiores valores de CTC, 2015, 2002 e 2008 (Figura 12) foram também aquelas com os maiores registros de K. Paralelamente, o tratamento com o maior pico de Ca (2002), Figura 10, foi também a área com o menor valor de potássio, corroborando com ideia previamente exposta.

Por sua vez, o enxofre é um elemento extremamente relacionado com a natureza mineralógica do solo, além de ser também altamente lixiviável (EMBRAPA, 1994; NOGUEIRA; MELO, 2003). No presente estudo, essa natureza pôde ser inferida, uma vez

que as áreas com tratamentos mais antigos foram também aquelas com os menores registros do elemento, justificando-se pelo maior tempo de exposição à intempéries climáticas. Quanto mais recente o tratamento, maior o valor registrado. Chama a atenção o fato de que os solos de Cerrado apresentaram, mais uma vez, valores equiparáveis às áreas mineradas, evidenciando novamente a natureza pobre em lixiviáveis dos solos em questão. O comportamento é típico para solos com argila do tipo 1:1, ricas em oxihidróxidos de Fe e Al e pobres em bases (RESENDE et al., 1999).

O cálcio e o magnésio, Figuras 10 e 11, apresentaram comportamentos similares, onde, novamente, os registros relativos aos solos de Cerrado e aos substratos expostos foram semelhantes, evidenciando o comportamento citado no parágrafo anterior. Ao mesmo tempo, ambos os elementos registraram aumento dos teores para as áreas tratadas com lodo de esgoto. No caso do cálcio, a maior dosagem (250 mg/ha), ocorrente no tratamento de 2002, foi também aquela com o maior registro do elemento.

Por fim e comumente conectada aos teores de matéria orgânica do solo (SANTOS et al., 2008; NOVAIS et al., 2017) a CTC aqui analisada, Figura 12, demonstrou um comportamento difuso quando se estabelece a comparação entre os solos de Cerrado e àqueles tratados com lodo de esgoto. O tratamento relativo à 1997 e 2011 apresentou valores estatisticamente iguais entre o Cerrado e o solo tratado com lodo para as mesmas datas. Por outro lado, é possível notar que nos anos de 2008 e 2015 houve um incremento da CTC dos solos tratados. Em todas as comparações os substratos expostos registraram os menores valores, diferenciado-se sempre das áreas de solo nativo. Deste modo, verificou-se que as áreas com maiores registros em matéria orgânica (solos revegetados e Cerrado *sensu stricto*), foram aquelas que, majoritariamente, apresentaram os maiores registros da CTC.

4.2 Verificação da variabilidade de fósforo remanescente e fósforo disponível ao longo do tempo e em áreas distintas

De modo equivalente à análise do pH em CaCl_2 , que considerou as interações de todos os parâmetros selecionados na Tabela 2, aqui, o pH se comportou igualmente, conforme exposto na Figura 14. Deste modo, com relação ao Cerrado, as áreas revegetadas que apresentaram maior quantidade de diferenças foram os anos de 2002, 2008 e 2015.

Quando analisamos os três tipos de fósforo, Figuras 15, 16 e 17, nota-se que apesar de existir um elevado incremento muito definido nos teores de P total, há variações entre o registros de fósforo disponível e remanescente, indicando distintas contribuições para a totalidade do elemento. Enquanto o fósforo disponível indicado no Cerrado se iguala àqueles indicados para os controles negativos, o fósforo remanescente do controle registrou valores mais elevados na mesma comparação, indicando que a capacidade tampão de fósforo no solo nativo é mais elevada, ou seja, o presente trabalho se alinhou à ideia de que são necessárias as mais unidades de fósforo para que uma esteja disponível no solo, conforme apresentado por Novais & Smyth (1999).

Quando avaliamos o incremento de P remanescente e disponível, observa-se novamente um comportamento variável. Enquanto todas as áreas registraram aumentos nos níveis de P disponível, o P remanescente apresentou maior variabilidade nos valores encontrados e, considerando a variação nos teores de P remanescente, o tratamento de 2011 registrou a redução de P na área tratada com lodo de esgoto. A redução dessa fração do P pode ser justificada se considerarmos que as unidades de P disponível foram muito relevantes no tratamento, indicando uma elevada disponibilidade. Este fato torna-se de especial importância, visto que a elevação na capacidade de disponibilização de fósforo do

solo é um desafio em solos intemperizados (RIBEIRO et al., 2018; PAVINATO et al., 2020).

A análise conjunta do Ca e do Mg permite constatar que as bases em questão registraram, novamente, comportamentos similares. Para ambas as situações, os solos de Cerrado e o substrato exposto apresentaram valores muito próximos e, estatisticamente falando, frequentemente iguais. Porém, a elevação desses elementos no solo foi variável, onde, de modo geral, as áreas mais jovens foram aquelas com os maiores registros. Porém, o tratamento referente ao ano de 2002, com a maior dosagem do conjunto de análises, registrou os maiores valores de Ca nos tratamentos com lodo, enquanto que em 2011 houve quedas nos registros para o mesmo tipo de solo.

Esses comportamentos podem ter ocorrido em função da elevada disponibilização de P no solo, uma vez que os sítios de adsorção de P concorrem com as bases. Considerando que as bases são solúveis em água e, portanto, lixiviáveis (RESENDE et al., 1999; NOVAIS, et al., 2007), espera-se que os tratamentos mais jovens apresentem os maiores registros. Ademais, uma vez mais disponíveis no solo, os íons de Ca e Mg competem por sítios de adsorção no solo, promovendo maior liberação de P, fortemente adsorvido aos oxihidróxidos de Fe e Al do solo (NOVAIS, SMYTH, 1999).

Corroborando com o supracitado, a Figura 20 permite a verificação de que a área que registrou mais ferro registrou também teores reduzidos para Ca e Mg, indicando uma relação inversa. No entanto, de modo geral, todas as aplicações demonstraram valores reduzidos e distintos entre si, onde o Cerrado apresentou teores mais elevados que aqueles registrados para os substratos. Ademais, o Cerrado indicou também valores próximos ou

menores frente aos indicados nos solos revegetados, apontando a possível necessidade de elevados teores de bases para a neutralização de íons de Fe, conforme já estabelecido na literatura (SOUZA, et al., 2006; CHATZISTATHIS; ALIFRAGIS; PAPAIOANNOU, 2015)

Considerando as análises de redundância, o presente estudo indicou que, enquanto as frações de P disponível e P total estão mais correlacionados com o pH e o Ca do solo, quando avaliamos as frações de fósforo total e remanescente houve maior correlação com o pH do solo e com o P disponível, demonstrando a relevância das adições de matéria orgânica e bases na neutralização de cargas positivas do solo. Assim, indicou-se que a fração de fósforo remanescente foi reduzida, favorecendo a elevação na disponibilidade de fósforo no solo. Entretanto, a última relação não se apresentou significativa, havendo baixo poder explicativo a partir da aplicação da RDA e apontando que outras variáveis influenciam no comportamento destas variáveis.

Espera-se, desta maneira, contribuir com a adição de mais uma ferramenta capaz de viabilizar a disponibilidade de fósforo em solos, em especial aqueles carentes na disponibilização do elemento e, com destaque para substratos degradados e em processo de regeneração, como é o caso dos perturbados e drasticamente alterados como resultado de atividades de mineração. Adicionalmente, os encontros aqui registrados podem colaborar com o auxílio informativo aos tomadores de decisão, tanto públicos como interessados particulares.

5. CONCLUSÕES

1. Apesar de não promover sempre um comportamento uniforme, o lodo de esgoto promoveu a elevação generalizada de parâmetros indicadores de fertilidade;
2. As frações de fósforo analisadas sofreram alterações significativas ao longo do tempo, com destaque para a elevação do fósforo total;
3. O fósforo remanescente e o disponível se mostraram pouco correlacionados, onde a fração de fósforo disponível foi mais influenciada pelo pH e Ca do solo;
4. O sulfato de alumínio não impediu a elevação de fósforo total no solo, onde a disponibilidade do elemento demonstrou um comportamento típico, com o avanço da retenção do fósforo à medida em que o tempo transcorreu.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAKUMOV, E.A. et al. **Humus accumulation, humification, and humic acid composition in soils of two post-mining chronosequences after coal mining.** J Soils Sediments. 2010.

ANAWAR, H.M. et al. **Adaptation, tolerance, and evolution of plant species in a pyrite mine in response to contamination level and properties of mine tailings: sustainable rehabilitation.** J Soils Sediments (2013) 13:730–741. 2013.

ANDERSON, J.D.; INGRAM, L.J.; STAHL, P.D. **Influence of reclamation management practices on microbial biomass carbon and soil organic carbon accumulation in**

semiarid mines lands of Wyoming. Department of Renewable Resources, University of Wyoming, Laramie, WY 82071, USA. *Applied soil ecology* 40 (2008) 387–397. 2008.

ANDRÉS, N.F.; FRANCISCO, M.S. **Effects of sewage sludge application on heavy metal leaching from mine tailings impoundments.** *Bioresource Technology*, volume 99, Issue 16, p. 7521-7530. November 2008.

AYENEW, B. et al. **Phosphorous status and adsorption characteristics of acid soils from Cheha and Dinsho districts, southern highlands of Ethiopia.** *Environ Syst Res* (2018) 7:17. 2018.

BALDUÍNO, A.P.C. **Importância de filtros ecológicos no recrutamento de plantas em jazidas tratadas com lodo de esgoto.** Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências Ambientais) -Universidade de Brasília. 2019.

BOCARD, D. GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R.** Springer, New York. 2011.

BRANCALION, P.H.S.; GANDOLFI, S.; ROGRIGUES, R.R. **Restauração florestal.** São Paulo: Oficina de textos. 2015.

BRANCALION, P.H.S. et al., **Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes.** 5, eaav3223, *Science*. 2019.

BRASIL. **Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980.** 1980.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil.** 1988.

BRASIL. **Decreto N° 97.632, de 10 de abril de 1989.** 1989.

BRASIL. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006.** 2006.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** 2010.

CALAES, G. D. **Estudos para a Elaboração do Plano Duodecenal (2010 - 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral** – Projeto Estal: Projeto de assistência técnica ao setor de energia. 2009.

CARDOSO, M.R.D.; MARCUZZO, F.F.N.; BARROS, J.R. **Classificação climática de köppen-geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal.** ACTA Geográfica, Boa Vista, v.8, n.16, p.40-55. Janeiro/março de 2014.

CHATZISTATHIS, T; ALIFRAGIS, D.; PAPAIOANNOU, A. **The influence of liming on soil chemical properties and on the alleviation of manganese and copper toxicity in Juglans regia, Robinia pseudoacacia, Eucalyptus sp. and Populus sp. plantations.** Journal of Environmental Management p.149-156.2015.

Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB)a. Disponível em <<https://www.caesb.df.gov.br/agua/controle-de-qualidade7/como-a-agua-e-tratada.html>> Acesso em 20 de nov de 2020.

Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB)b. Disponível em <<https://www.caesb.df.gov.br/como-a-agua-e-tratada.html>>. Acesso em 20 de set de 2020.

Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN). **Distrito federal em síntese - informações socioeconômicas e geográficas.** Ed. Sede CODEPLAN CEP: 70620-000 – Brasília, DF. 2013.

CORRÊA, R.S. **Beneficial use of biosolids based on their N and P fertilizing value.** Melbourne: The University of Melbourne, 305p. (Thesis - Ph.D.). 2001.

CORRÊA, R.S. **Efficiency of five biosolids to supply nitrogen and phosphorus to ryegrass.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.39, n.11, p.1133-1139. November 2004.

CORRÊA, R.S. et al. **Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.5, p.538–544, Campina Grande, PB. 2010.

CORRÊA, R.S.; BENTO, M.A.B. **Qualidade do substrato minerado de uma área de empréstimo revegetada no distrito federal.** Rev. Bras. Ci. Solo, 34:1435-1443. 2010.

CROUZEILLES, R. et al. **A global meta-analysis on the ecological drivers of forest restoration success.** Nature Communications. 2016.

DING, Z. et al. **The integrated effect of salinity, organic amendments, phosphorus fertilizers, and deficit irrigation on soil properties, phosphorus fractionation and wheat productivit.**10:2736, Nature. 2020.

DOMENE, X. et al. **Bioassays prove the suitability of mining debris mixed with sewage sludge for land reclamation purposes.** 10:30–44, J Soils Sediments. (2010).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Enxofre no sistema solo-planta-animal.** Campo Grande, MS. 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2ª ed., Rio de Janeiro:212p. 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA).

Antropossolos: proposta de ordem (1ª aproximação) /Gustavo Ribas Curcio, Valmiqui Costa Lima, Neyde Fabíola Balarezo Giarola. – Colombo: Embrapa Florestas. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA)a. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola.** Jaguariúna, SP. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA)b. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos** / editado por Heloisa Ferreira Filizola, Marcos Antonio Ferreira Gomes e Manoel Dornelas de Souza. - Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 169p. il. ISBN 85-85771-43. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solos** / organizadores, Guilherme Kangussú Donagema... [et al.,]. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : RJ, Embrapa Solos, 230 p. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 132). 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF. Embrapa. 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Disponível em<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn1sf65m02wx5ok0liq1mqzx3jrec.html#:~:text=Cambissolos%20identificados%20normalmente%20em%20relevos,apresentam%20horizonte%20supefcial%20A%20H%C3%BAmico.&text

[=S%C3%A3o%20solos%20de%20fertilidade%20natural,pedras%20na%20massa%20do%20solo.>](#) Acesso em 20 de nov de 2020.

FERREIRA, M.C.; WALTER, B.M.T.; VIEIRA, D.L.M. **Topsoil translocation for Brazilian savanna restoration: propagation of herbs, shrubs, and trees.** Restoration Ecology Vol. 23, No. 6, p. 723–728. November 2015.

GASTAUER, M. et al., **Mine lands rehabilitation in Brazil: Goals and techniques in the context of legal requirements.** Ambio, 48:74–88. 2019.

GRASS, I. et al. **Trade-offs between multifunctionality and profit in tropical smallholder landscapes.** 11:1186, Nature. 2020.

GUEDES, R.S. et al. **Phosphorus lability increases with the rehabilitation advance of iron mine land in the eastern Amazon.** 192:390, Environ Monit Assess. (2020)

HERNÁNDEZ, J.R. et al. **Environmental consequences from the use of sewage sludge in soil restoration related to microbiological pollution.** J Soils Sediments. 2017.

HUANG, De-Yin et al. **Comparison of dissolved organic matter from sewage sludge and sludge compost as electron shuttles for enhancing Fe (III) bioreduction.** 10:722–729, J Soils Sediments. 2010.

HUANG, N. et al. **Spatial and temporal variations in global soil respiration and their relationships with climate and land cover.** 6: eabb8508, Science advances. 7 October 2020.

Instituto Nacional de Meteorologia. Estações e Dados (INMET). Disponível em

[<https://portal.inmet.gov.br/>](https://portal.inmet.gov.br/) Acesso em 5 de out de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação.** 96p, Brasília. 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **O Brasil na agenda internacional para o desenvolvimento sustentável: um olhar externo sobre os desafios e oportunidades nas negociações de clima, biodiversidade e substâncias químicas.** / Francisco Gaetani [et al.]. Organizadores / John Morris, João F. Bezerra, Rosana Carvalho; Tradutores. Brasília: MMA. 190 p. 2012.

IPBES: **The IPBES assessment report on land degradation and restoration.** Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 744 p. Bonn, Germany. 2018.

JÚNIOR, B.H.M.; HARIDASAN, M. **Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerrado e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil.** 19(4): 913-926, Acta bot. bras. 2005.

KAFRUNI, S. **Desmatamento da Amazônia: países da UE são contra acordo com Mercosul.** 2020. Disponível em <http://blogs.correiobraziliense.com.br/4elementos/2020/06/04/desmatamento-da-amazonia-paises-da-ue-sao-contra-acordo-com-mercosul/>>. Acesso em 3 de jul de 2020.

LAL, R.; STEWART, B.A. **Advances in soil science: soil restoration.** USDA Conservation and Production Research Lab Bushland, TX 79012 USA. 1991.

LIMA, T.P.M. **Regime de umidade em um substrato revegetado com lodo de esgoto no distrito federal**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade de Brasília, 2019.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A.S.; MELO, W.J. **Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita**. *Bragantia*, Campinas, v.64, n.1, p.101-107.2005.

LOOSDRECHT, M.C.M.; BRDJANOVIC, D. **Anticipating the next century of wastewater treatment**. vol 344 ISSUE 6191, *Science*. 2014.

MACHADO, V.J. et al., **Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico**. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 70-76, Janeiro/ fevereiro 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London, 889p, Academic Press. 1995.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Boletim do setor mineral. 2019.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª ed. Lavras: Editora UFLA, 729p. 2006.

NEGRÃO, H. **Após Alemanha, Noruega também bloqueia repasses para Amazônia**. 2019. Disponível em:

<https://brasil.elpais.com/brasil/2019/08/15/politica/1565898219_277747.html>. Acesso em 1 de jul de 2020.

NOBILE, C. et al., **Phosphorus-acquisition strategies of canola, wheat and barley in soil amended with sewage sludges**. 9:14878, *Nature - Scientific Reports*. 2019.

NOGUEIRA, M.A.; MELO, W.J. **Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola.** Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.27 no.4 Viçosa, MG. Julho/Agosto 2003.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa, MG: UFV, DPS399p.1999.

NOVAIS, R.F. et al., **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, (viii), 1017p. 2007.

OLANREWAJU, S.B. EZEKIEL, A.A. **Degradation Characteristics and Management of Marginal Lands in Nigeria, Africa.** 55 55 5 (2), J Soils & Sediments.2005

OHIMAIN, E. I.; ANDRIESSE, W.; MENSVOORT, M.E.E. **Environmental Impacts of Abandoned Dredged Soils and Sediments Available Options for their Handling, Restoration and Rehabilitation.** 4 (1) 59 – 65, J Soils & Sediments. 2004.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). 2018. **Mapa de agência da ONU mostra quantidade de reservas de carbono nos solos do mundo.** 2018. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/mapa-de-agencia-da-onu-mostra-quantidade-de-reservas-de-carbono-nos-solos-do-mundo/#:~:text=Os%20solos%20do%20mundo%20atuam,di%C3%B3xido%20de%20carbono%20na%20atmosfera.>>. Acesso em 1 de jul de 2020.

PÄRNÄNEN, K.M.M. et al. **Antibiotic resistance in European wastewater treatment plants mirrors the pattern of clinical antibiotic resistance prevalence.** 5: eaau9124, Science Advances. 2019.

PAVINATO, P.S. et al., **Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil**. 10:15615, Nature - Scientific Reports. 2020.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification**. Hydrology and Earth System Sciences, v. 11, p. 1633–1644. 2007.

PENIDO, E.S. et al. **Combining biochar and sewage sludge for immobilization of heavy metals in mining soils**. Ecotoxicology and Environmental Safety, volume 172, pages 326-333. 15 May 2019.

PERÉZ-GIMENO, A. et al.. **Environmental consequences of the use of sewage sludge compost and limestone outcrop residue for soil restoration: salinity and trace elements pollution**. 16:1012–1021, J Soils Sediments. 2016.

POTAPOV, P. et al. **The last frontiers of wilderness: tracking loss of intact forest landscapes from 2000 to 2013**. 3: e1600821 13 ,Science Advances. January 2017.

Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomias). 2020. **Mapbiomas**. Aba MAPAS E DADOS. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em 16 de jun. de 2020.

RAIJ, B.V. **Avaliação da fertilidade do solo: Fósforo**. Capítulo 7, Instituto Agronômico de São Paulo. 1983.

RASHID, A.; MEMON, K.S. **Soil Science: Soil and fertilizer phosphorous**. Chapter 10. National Book Foundation. Islamabad, Pakistan. 1996.

RESENDE, M. et al., **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 3ª edição, Viçosa, Minas Gerais (MG): NEPUT, 338p. 1999.

RIBEIRO, V.P., et al., **Endophytic Bacillus strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P**. Braz. J. Microbiol. vol.49 supl.1 São Paulo. 2018

RICCI, A.B. et al., **Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado I: atributos físicos e revetação**. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.34 no.2 Viçosa, MG. Março/abril 2010.

RICCI, A.B. et al., **Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado II: atributos químicos e revetação**. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.34 no.2 Viçosa, MG. Março/abril 2010.

ROCHMAN, C.M. **Microplastics research— from sink to source**. 360(6384), p.28-29, Science. 2018

ROS, M.; HERNANDEZ, T.; GARCÍA, C. **Bioremediation of Soil Degraded by Sewage Sludge: Effects on Soil Properties and Erosion Losses**. Environmental Management Vol. 31, No. 6, p. 741–747. 2003.

SANTOS, G.A.A et al., **Fundamentos da matéria orgânica do solo : ecossistemas tropicais & subtropicais**. / 2.ed. rev. e atual. – Porto Alegre: Metropole, 654p .2008.

SECCO, R.S.; MESQUITA, A.L. **Notas sobre a vegetação de Canga da Serra norte**. Boletim do museu paraense Emílio Goeldi, Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas, nº59. 19 de janeiro de 1983.

SELIVANOVSKAYA, S.Y. et al., **Use of Sewage Sludge Compost as the Restoration Agent on the Degraded Soil of Tatarstan**. Journal of environmental science and health part

a -toxic/hazardous Substances & Environmental Engineering Vol. A38, No. 8, p. 1549–1556.
2003.

SERÉ, G. et al., **Soil Construction: A Step for Ecological Reclamation of Derelict Lands.**
88 88 8 (2) 130 – 136, J Soils Sediments. 2008.

SERÉ, G. et al., **Early pedogenic evolution of constructed Technosols.** J Soils Sediments
(2010) 10:1246–1254.

SEYMOUR, F.; HARRIS, N. **Reducing tropical deforestation: The interventions
required to reduce deforestation differ widely across the tropics.** vol 365 issue 6455,
Science. 23 august 2019.

SILVEIRA, H.L.F.; VETTORAZZI, C.A.; VALENTE, R.O.A. **Avaliação multicriterial no
mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente sig, na bacia do Rio
Corumbataí, SP.** Rev. Árvore vol.32 no.2, Viçosa, MG. Março/Abril. 2008.

SOUZA, R.F. et al., **Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em
solos.** 30:975-983, R. Bras. Ci. Solo., 2006.

STRASSBURG, B.N. et al., **Strategic approaches to restoring ecosystems can triple
conservation gains and halve costs.** VOL 3, 62–70, Nature. January 2019

SUTTON, P.; DICK, W.A. **Reclamation of acidic mined lands in humid areas.**
Department of Agronomy, The Ohio State University Ohio Agricultural Research and
Development Center Wooster, Ohio 44691. Advances in agronomy, vol. 41. 1987.

TACEY, W.H.; GLOSSOP, B.L. **Assessment of topsoil handling techniques for restoration of sites mined for bauxite within the Jarrah forest of Western Australia.** 17:195–201, Journal of Applied Ecology. 1980.

TORRI, S.I.; CORRÊA, R.S.; RENELLA, G. **Soil Carbon Sequestration Resulting from Biosolids Application.** Applied and Environmental Soil Science Volume 2014, Article ID 821768, 9 pages. 2014.

TORRI, S.I.; CORRÊA, R.S.; RENELLA, G. **Biosolid application to agricultural land - a contribution to global phosphorous recycle: A review.** 27(1): 1–16, Pedosphere. 2017.

TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M. **Solos e fertilidade do solo: Fósforo.** Capítulo 12. Ed. 6. 2007.

VALOR. **Timberland, Vans e mais marcas suspendem compra de couro do Brasil por queimadas.** 2019. Disponível em: <<https://valorinveste.globo.com/mercados/renda-variavel/empresas/noticia/2019/08/28/timberland-vans-e-mais-16-marcas-suspendem-compra-de-couro-do-brasil-por-queimadas.ghtml>>. Acesso em 1 de jul. de 2020.

WEITHMANN, N. et al., **Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment.** 4:eaap8060. Science Advances. 2018.

WHITE, R.E. **Princípios e práticas da ciência do solo: o solo como um recurso natural.** Ed.4. 2009.

WU, L. et al., **Major nutrients, heavy metals and PBDEs in soils after long-term sewage sludge application.** 12:531–541, J Soils Sediments. 2012.

XIE, Z. et al., **Conservation opportunities on uncontested lands.** Nature. 201

ANEXO I - Resultados *Tukey HSD Test*, probabilidades aproximadas para testes *Post Hoc* para todas as variáveis coletadas.

Tabela 7 Tukey HSD test, variável pH em água; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		0.3304 81	0.6365 43	1.0000 00	0.9023 29	0.9023 29	0.0594 29	0.1702 40	1.0000 00	0.0446 46	0.9410 43	1.0000 00	0.9993 04	0.9999 74	0.9842 44
Cerrado	2002	0.3304 81		1.0000 00	0.2687 09	0.9993 04	0.0070 82	0.0001 80	1.0000 00	0.3998 17	0.9993 04	0.0097 28	0.5555 24	0.9023 29	0.7877 77	0.9842 44
Cerrado	2008	0.6365 43	1.0000 00		0.5555 24	1.0000 00	0.0246 87	0.0003 03	0.9998 42	0.7152 22	0.9677 01	0.0333 03	0.8509 28	0.9933 16	0.9677 01	0.9998 42
Cerrado	2011	1.0000 00	0.2687 09	0.5555 24		0.8509 28	0.9410 43	0.0784 65	0.1329 57	1.0000 00	0.0333 03	0.9677 01	1.0000 00	0.9976 03	0.9998 42	0.9677 01
Cerrado	2015	0.9023 29	0.9993 04	1.0000 00	0.8509 28		0.0784 65	0.0007 88	0.9842 44	0.9410 43	0.7877 77	0.1026 86	0.9842 44	0.9999 74	0.9993 04	1.0000 00
Revegetado	1997	0.9023 29	0.0070 82	0.0246 87	0.9410 43	0.0784 65		0.8509 28	0.0027 10	0.8509 28	0.0005 98	1.0000 00	0.7152 22	0.3304 81	0.4757 13	0.1702 40
Revegetado	2002	0.0594 29	0.0001 80	0.0003 03	0.0784 65	0.0007 88	0.8509 28		0.0001 57	0.0446 46	0.0001 49	0.7877 77	0.0246 87	0.0051 46	0.0097 28	0.0019 68
Revegetado	2008	0.1702 40	1.0000 00	0.9998 42	0.1329 57	0.9842 44	0.0027 10	0.0001 57		0.2153 82	0.9999 97	0.0037 37	0.3304 81	0.7152 22	0.5555 24	0.9023 29
Revegetado	2011	1.0000 00	0.3998 17	0.7152 22	1.0000 00	0.9410 43	0.8509 28	0.0446 46	0.2153 82		0.0594 29	0.9023 29	1.0000 00	0.9998 42	0.9999 97	0.9933 16
Revegetado	2015	0.0446 46	0.9993 04	0.9677 01	0.0333 03	0.7877 77	0.0005 98	0.0001 49	0.9999 97	0.0594 29		0.0007 88	0.1026 86	0.3304 81	0.2153 82	0.5555 24
Substrato	1997	0.9410 43	0.0097 28	0.0333 03	0.9677 01	0.1026 86	1.0000 00	0.7877 77	0.0037 37	0.9023 29	0.0007 88		0.7877 77	0.3998 17	0.5555 24	0.2153 82
Substrato	2002	1.0000 00	0.5555 24	0.8509 28	1.0000 00	0.9842 44	0.7152 22	0.0246 87	0.3304 81	1.0000 00	0.1026 86	0.7877 77		0.9999 97	1.0000 00	0.9993 04
Substrato	2008	0.9993 04	0.9023 29	0.9933 16	0.9976 03	0.9999 74	0.3304 81	0.0051 46	0.7152 22	0.9998 42	0.3304 81	0.3998 17	0.9999 97		1.0000 00	1.0000 00
Substrato	2011	0.9999 74	0.7877 77	0.9677 01	0.9998 42	0.9993 04	0.4757 13	0.0097 28	0.5555 24	0.9999 97	0.2153 82	0.5555 24	1.0000 00	1.0000 00		0.9999 97
Substrato	2015	0.9842 44	0.9842 44	0.9998 42	0.9677 01	1.0000 00	0.1702 40	0.0019 68	0.9023 29	0.9933 16	0.5555 24	0.2153 82	0.9993 04	1.0000 00	0.9999 97	

Tabela 8 Tukey HSD test, variável pH em CaCl₂; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		0.3078	0.0305	1.0000	0.4100	0.7604	0.0001	0.6461	0.3078	0.4100	0.0029	0.9996	0.9999	0.1570	1.0000
	7		37	47	00	45	13	59	54	37	45	43	81	99	92	00
Cerrado	200	0.3078		0.9977	0.3078	1.0000	0.0029	0.0001	0.9999	0.0004	1.0000	0.0001	0.0472	0.6461	0.0002	0.3078
	2	37		59	37	00	43	48	99	99	00	48	94	54	71	37
Cerrado	200	0.0305	0.9977		0.0305	0.9901	0.0002	0.0001	0.9266	0.0001	0.9901	0.0001	0.0029	0.1076	0.0001	0.0305
	8	47	59		47	43	71	48	89	59	43	48	43	42	51	47
Cerrado	201	1.0000	0.3078	0.0305		0.4100	0.7604	0.0001	0.6461	0.3078	0.4100	0.0029	0.9996	0.9999	0.1570	1.0000
	1	00	37	47		45	13	59	54	37	45	43	81	99	92	00
Cerrado	201	0.4100	1.0000	0.9901	0.4100		0.0047	0.0001	1.0000	0.0007	1.0000	0.0001	0.0720	0.7604	0.0003	0.4100
	5	45	00	43	45		50	48	00	42	00	49	40	13	55	45
Revegetado	199	0.7604	0.0029	0.0002	0.7604	0.0047		0.0047	0.0122	0.9999	0.0047	0.3078	0.9977	0.4100	0.9977	0.7604
	7	13	43	71	13	50		50	59	76	50	37	59	45	59	13
Revegetado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0047		0.0001	0.0305	0.0001	0.8566	0.0003	0.0001	0.0720	0.0001
	2	59	48	48	59	48	50		48	47	48	10	55	50	40	59
Revegetado	200	0.6461	0.9999	0.9266	0.6461	1.0000	0.0122	0.0001		0.0018	1.0000	0.0001	0.1570	0.9266	0.0007	0.6461
	8	54	99	89	54	00	59	48		30	00	51	92	89	42	54
Revegetado	201	0.3078	0.0004	0.0001	0.3078	0.0007	0.9999	0.0305	0.0018		0.0007	0.7604	0.8566	0.1076	1.0000	0.3078
	1	37	99	59	37	42	76	47	30		42	13	10	42	00	37
Revegetado	201	0.4100	1.0000	0.9901	0.4100	1.0000	0.0047	0.0001	1.0000	0.0007		0.0001	0.0720	0.7604	0.0003	0.4100
	5	45	00	43	45	00	50	48	00	42		49	40	13	55	45
Substrato	199	0.0029	0.0001	0.0001	0.0029	0.0001	0.3078	0.8566	0.0001	0.7604	0.0001		0.0305	0.0007	0.9266	0.0029
	7	43	48	48	43	49	37	10	51	13	49		47	42	89	43
Substrato	200	0.9996	0.0472	0.0029	0.9996	0.0720	0.9977	0.0003	0.1570	0.8566	0.0720	0.0305		0.9693	0.6461	0.9996
	2	81	94	43	81	40	59	55	92	10	40	47		64	54	81
Substrato	200	0.9999	0.6461	0.1076	0.9999	0.7604	0.4100	0.0001	0.9266	0.1076	0.7604	0.0007	0.9693		0.0472	0.9999
	8	99	54	42	99	13	45	50	89	42	13	42	64		94	99
Substrato	201	0.1570	0.0002	0.0001	0.1570	0.0003	0.9977	0.0720	0.0007	1.0000	0.0003	0.9266	0.6461	0.0472		0.1570
	1	92	71	51	92	55	59	40	42	00	55	89	54	94		92
Substrato	201	1.0000	0.3078	0.0305	1.0000	0.4100	0.7604	0.0001	0.6461	0.3078	0.4100	0.0029	0.9996	0.9999	0.1570	
	5	00	37	47	00	45	13	59	54	37	45	43	81	99	92	

Tabela 9 Tukey HSD test, variável M.O; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		0.0001	0.9948	0.0028	0.8172	0.0097	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	7		49	76	08	03	31	51	49	48	49	48	48	48	48	48
Cerrado	200	0.0001		0.0001	0.3720	0.0004	0.1591	1.0000	1.0000	0.0001	1.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	2	49		86	37	96	60	00	00	48	00	48	48	48	48	48
Cerrado	200	0.9948	0.0001		0.0567	0.9999	0.1591	0.0003	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	76	86		04	82	60	23	86	48	86	48	48	48	48	48
Cerrado	201	0.0028	0.3720	0.0567		0.2500	1.0000	0.6764	0.3720	0.0001	0.3720	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	1	08	37	04		35	00	47	37	48	37	48	48	48	48	48
Cerrado	201	0.8172	0.0004	0.9999	0.2500		0.5197	0.0015	0.0004	0.0001	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	03	96	82	35		47	17	96	48	96	48	48	48	48	48
Revegetado	199	0.0097	0.1591	0.1591	1.0000	0.5197		0.3720	0.1591	0.0001	0.1591	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	7	31	60	60	00	47		37	60	48	60	48	48	48	48	48
Revegetado	200	0.0001	1.0000	0.0003	0.6764	0.0015	0.3720		1.0000	0.0001	1.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	2	51	00	23	47	17	37		00	48	00	48	48	48	48	48
Revegetado	200	0.0001	1.0000	0.0001	0.3720	0.0004	0.1591	1.0000		0.0001	1.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	49	00	86	37	96	60	00		48	00	48	48	48	48	48
Revegetado	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	1	48	48	48	48	48	48	48	48		48	48	48	48	48	48
Revegetado	201	0.0001	1.0000	0.0001	0.3720	0.0004	0.1591	1.0000	1.0000	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	49	00	86	37	96	60	00	00	48		48	48	48	48	48
Substrato	199	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		1.0000	1.0000	1.0000	0.9999
	7	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48		00	00	00	92
Substrato	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000		1.0000	1.0000	0.9999
	2	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	00		00	00	92
Substrato	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000		1.0000	1.0000
	8	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	00	00		00	00
Substrato	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000
	1	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	00	00	00		00
Substrato	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	
	5	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	92	92	00	00	

Tabela 10 Tukey HSD test, variável P- disp; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0040 49	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Cerrado	2002	1.0000 00		1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0041 16	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Cerrado	2008	1.0000 00	1.0000 00		1.0000 00	1.0000 00	0.0039 93	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Cerrado	2011	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00		1.0000 00	0.0041 85	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Cerrado	2015	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00		0.0040 49	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Revegetado	1997	0.0040 49	0.0041 16	0.0039 93	0.0041 85	0.0040 49		0.0001 48	0.0001 48	0.0273 46	0.0001 48	0.0039 17	0.0041 27	0.0040 26	0.0040 04	0.0039 71
Revegetado	2002	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48		0.9092 84	0.0001 48	0.0320 02	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Revegetado	2008	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.9092 84		0.0001 48	0.0004 66	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Revegetado	2011	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0273 46	0.0001 48	0.0001 48		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Revegetado	2015	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0320 02	0.0004 66	0.0001 48		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Substrato	1997	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0039 17	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48		1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Substrato	2002	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0041 27	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00		1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Substrato	2008	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0040 26	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00		1.0000 00	1.0000 00
Substrato	2011	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0040 04	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00		1.0000 00
Substrato	2015	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0039 71	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	

Tabela 11 Tukey HSD test, variável P – reman; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação		Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		0.9999	1.0000	0.8895	1.0000	0.4818	1.0000	0.3677	0.9999	0.7140	0.9992	0.9999	1.0000	0.9999	0.9999	0.9999
			99	00	41	00	83	00	10	99	34	76	95	00	57	99	99
Cerrado	2002	0.9999		1.0000	0.9941	1.0000	0.8203	0.9999	0.7125	1.0000	0.9530	0.9572	0.9950	1.0000	0.9878	0.9979	0.9979
		99		00	58	00	49	97	80	00	65	04	40	00	11	50	50
Cerrado	2008	1.0000	1.0000		0.9708	1.0000	0.6768	1.0000	0.5536	1.0000	0.8735	0.9899	0.9995	1.0000	0.9983	0.9998	0.9998
		00	00		51	00	72	00	55	00	91	10	40	00	26	71	71
Cerrado	2011	0.8895	0.9941	0.9708		0.9595	0.9999	0.8592	0.9997	0.9940	1.0000	0.3108	0.5115	0.9727	0.4340	0.5780	0.5780
		41	58	51		98	88	42	90	91	00	17	76	93	86	99	99
Cerrado	2015	1.0000	1.0000	1.0000	0.9595		0.6365	1.0000	0.5129	1.0000	0.8454	0.9936	0.9997	1.0000	0.9991	0.9999	0.9999
		00	00	00	98		28	00	32	00	31	15	84	00	10	47	47
Revegetado	1997	0.4818	0.8203	0.6768	0.9999	0.6365		0.4368	1.0000	0.8195	1.0000	0.0795	0.1624	0.6848	0.1268	0.1977	0.1977
		83	49	72	88	28		79	00	91	00	13	07	01	01	75	75
Revegetado	2002	1.0000	0.9999	1.0000	0.8592	1.0000	0.4368		0.3284	0.9999	0.6688	0.9996	0.9999	1.0000	0.9999	1.0000	1.0000
		00	97	00	42	00	79		82	97	29	81	99	00	87	00	00
Revegetado	2008	0.3677	0.7125	0.5536	0.9997	0.5129	1.0000	0.3284		0.7116	0.9999	0.0518	0.1104	0.5618	0.0847	0.1363	0.1363
		10	80	55	90	32	00	82		66	99	48	10	32	74	94	94
Revegetado	2011	0.9999	1.0000	1.0000	0.9940	1.0000	0.8195	0.9999	0.7116		0.9527	0.9575	0.9950	1.0000	0.9879	0.9979	0.9979
		99	00	00	91	00	91	97	66		32	19	99	00	31	77	77
Revegetado	2015	0.7140	0.9530	0.8735	1.0000	0.8454	1.0000	0.6688	0.9999	0.9527		0.1683	0.3117	0.8788	0.2528	0.3667	0.3667
		34	65	91	00	31	00	29	99	32		68	32	27	71	23	23
Substrato	1997	0.9992	0.9572	0.9899	0.3108	0.9936	0.0795	0.9996	0.0518	0.9575	0.1683		1.0000	0.9890	1.0000	1.0000	1.0000
		76	04	10	17	15	13	81	48	19	68		00	00	00	00	00
Substrato	2002	0.9999	0.9950	0.9995	0.5115	0.9997	0.1624	0.9999	0.1104	0.9950	0.3117	1.0000		0.9994	1.0000	1.0000	1.0000
		95	40	40	76	84	07	99	10	99	32	00		70	00	00	00
Substrato	2008	1.0000	1.0000	1.0000	0.9727	1.0000	0.6848	1.0000	0.5618	1.0000	0.8788	0.9890	0.9994		0.9981	0.9998	0.9998
		00	00	00	93	00	01	00	32	00	27	00	70		17	48	48
Substrato	2011	0.9999	0.9878	0.9983	0.4340	0.9991	0.1268	0.9999	0.0847	0.9879	0.2528	1.0000	1.0000	0.9981		1.0000	1.0000
		57	11	26	86	10	01	87	74	31	71	00	00	17		00	00
Substrato	2015	0.9999	0.9979	0.9998	0.5780	0.9999	0.1977	1.0000	0.1363	0.9979	0.3667	1.0000	1.0000	0.9998	1.0000		
		99	50	71	99	47	75	00	94	77	23	00	00	48	00		

Tabela 12 Tukey HSD test, variável P - total; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Cerrado	2002	1.0000 00		1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Cerrado	2008	1.0000 00	1.0000 00		1.0000 00	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Cerrado	2011	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00		1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Cerrado	2015	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Revegetado	1997	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48		0.0001 54	0.0001 48	0.9969 39	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Revegetado	2002	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 54		0.9999 90	0.0003 73	0.0001 68	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Revegetado	2008	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.9999 90		0.0001 74	0.0001 50	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Revegetado	2011	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.9969 39	0.0003 73	0.0001 74		0.9999 64	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Revegetado	2015	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	0.0001 68	0.0001 50	0.9999 64		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Substrato	1997	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48		1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Substrato	2002	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00		1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Substrato	2008	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00		1.0000 00	1.0000 00
Substrato	2011	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00		1.0000 00
Substrato	2015	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	

Tabela 13 Tukey HSD test, variável K(mg/dm³); Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		0.0001 48	0.0001 49	0.9998 68	0.9999 75	0.1340 86	0.9999 99	0.0001 48	0.9568 45	0.0001 48	0.0002 31	0.0005 94	0.0012 41	0.0007 23	0.7188 21
Cerrado	2002	0.0001 48		0.1487 04	0.0001 48											
Cerrado	2008	0.0001 49	0.1487 04		0.0001 48	0.0001 59	0.0001 48	0.0001 54	0.0001 48	0.0002 96	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Cerrado	2011	0.9998 68	0.0001 48	0.0001 48		0.9450 65	0.5494 35	0.9757 86	0.0001 48	0.5272 10	0.0001 48	0.0010 83	0.0049 36	0.0110 57	0.0062 09	0.9929 20
Cerrado	2015	0.9999 75	0.0001 48	0.0001 59	0.9450 65		0.0250 76	1.0000 00	0.0001 48	0.9999 36	0.0001 48	0.0001 55	0.0001 95	0.0002 80	0.0002 10	0.2725 05
Revegeta do	1997	0.1340 86	0.0001 48	0.0001 48	0.5494 35	0.0250 76		0.0369 01	0.0001 48	0.0032 54	0.0001 48	0.2773 36	0.6320 90	0.8194 84	0.6890 72	0.9975 66
Revegeta do	2002	0.9999 99	0.0001 48	0.0001 54	0.9757 86	1.0000 00	0.0369 01		0.0001 48	0.9994 90	0.0001 48	0.0001 60	0.0002 34	0.0003 56	0.0002 58	0.3546 82
Revegeta do	2008	0.0001 48		0.0001 48	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48						
Revegeta do	2011	0.9568 45	0.0001 48	0.0002 96	0.5272 10	0.9999 36	0.0032 54	0.9994 90	0.0001 48		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 51	0.0001 58	0.0001 52	0.0528 67
Revegeta do	2015	0.0001 48	1.0000 00	0.0001 48		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48						
Substrato	1997	0.0002 31	0.0001 48	0.0001 48	0.0010 83	0.0001 55	0.2773 36	0.0001 60	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48		0.9999 98	0.9997 33	0.9999 91	0.0257 09
Substrato	2002	0.0005 94	0.0001 48	0.0001 48	0.0049 36	0.0001 95	0.6320 90	0.0002 34	0.0001 48	0.0001 51	0.0001 48	0.9999 98		1.0000 00	1.0000 00	0.1008 29
Substrato	2008	0.0012 41	0.0001 48	0.0001 48	0.0110 57	0.0002 80	0.8194 84	0.0003 56	0.0001 48	0.0001 58	0.0001 48	0.9997 33	1.0000 00		1.0000 00	0.1903 63
Substrato	2011	0.0007 23	0.0001 48	0.0001 48	0.0062 09	0.0002 10	0.6890 72	0.0002 58	0.0001 48	0.0001 52	0.0001 48	0.9999 91	1.0000 00	1.0000 00		0.1215 31
Substrato	2015	0.7188 21	0.0001 48	0.0001 48	0.9929 20	0.2725 05	0.9975 66	0.3546 82	0.0001 48	0.0528 67	0.0001 48	0.0257 09	0.1008 29	0.1903 63	0.1215 31	

Tabela 14 Tukey HSD test, variável K (cmol); Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		0.0001 48	0.0001 49	0.9998 66	0.9999 75	0.1340 72	0.9999 99	0.0001 48	0.9568 15	0.0001 48	0.0002 31	0.0005 92	0.0012 40	0.0007 20	0.7186 00
Cerrado	2002	0.0001 48		0.1485 47	0.0001 48											
Cerrado	2008	0.0001 49	0.1485 47		0.0001 48	0.0001 59	0.0001 48	0.0001 54	0.0001 48	0.0002 96	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Cerrado	2011	0.9998 66	0.0001 48	0.0001 48		0.9448 15	0.5499 94	0.9756 12	0.0001 48	0.5265 30	0.0001 48	0.0010 82	0.0049 30	0.0110 71	0.0061 91	0.9929 48
Cerrado	2015	0.9999 75	0.0001 48	0.0001 59	0.9448 15		0.0250 67	1.0000 00	0.0001 48	0.9999 36	0.0001 48	0.0001 55	0.0001 95	0.0002 80	0.0002 10	0.2722 94
Revegetado	1997	0.1340 72	0.0001 48	0.0001 48	0.5499 94	0.0250 67		0.0368 66	0.0001 48	0.0032 52	0.0001 48	0.2766 97	0.6312 40	0.8193 14	0.6878 37	0.9975 73
Revegetado	2002	0.9999 99	0.0001 48	0.0001 54	0.9756 12	1.0000 00	0.0368 66		0.0001 48	0.9994 92	0.0001 48	0.0001 59	0.0002 34	0.0003 56	0.0002 57	0.3542 91
Revegetado	2008	0.0001 48		0.0001 48	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48						
Revegetado	2011	0.9568 15	0.0001 48	0.0002 96	0.5265 30	0.9999 36	0.0032 52	0.9994 92	0.0001 48		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 51	0.0001 58	0.0001 52	0.0528 06
Revegetado	2015	0.0001 48	1.0000 00	0.0001 48		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48						
Substrato	1997	0.0002 31	0.0001 48	0.0001 48	0.0010 82	0.0001 55	0.2766 97	0.0001 59	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48		0.9999 98	0.9997 30	0.9999 91	0.0256 44
Substrato	2002	0.0005 92	0.0001 48	0.0001 48	0.0049 30	0.0001 95	0.6312 40	0.0002 34	0.0001 48	0.0001 51	0.0001 48	0.9999 98		1.0000 00	1.0000 00	0.1006 15
Substrato	2008	0.0012 40	0.0001 48	0.0001 48	0.0110 71	0.0002 80	0.8193 14	0.0003 56	0.0001 48	0.0001 58	0.0001 48	0.9997 30	1.0000 00		1.0000 00	0.1903 55
Substrato	2011	0.0007 20	0.0001 48	0.0001 48	0.0061 91	0.0002 10	0.6878 37	0.0002 57	0.0001 48	0.0001 52	0.0001 48	0.9999 91	1.0000 00	1.0000 00		0.1211 16
Substrato	2015	0.7186 00	0.0001 48	0.0001 48	0.9929 48	0.2722 94	0.9975 73	0.3542 91	0.0001 48	0.0528 06	0.0001 48	0.0256 44	0.1006 15	0.1903 55	0.1211 16	

Tabela 15 Tukey HSD test, variável S; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		0.9999 99	0.9999 41	0.9999 99	0.9920 80	0.0017 02	0.9999 05	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.9767 20	0.9999 79	1.0000 00	1.0000 00	0.9999 97
Cerrado	2002	0.9999 99		0.9844 14	0.9972 92	0.8656 27	0.0072 97	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.9998 50	1.0000 00	0.9980 00	1.0000 00	0.9952 53
Cerrado	2008	0.9999 41	0.9844 14		1.0000 00	1.0000 00	0.0003 09	0.9367 30	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.6403 28	0.9602 44	1.0000 00	0.9985 53	1.0000 00
Cerrado	2011	0.9999 99	0.9972 92	1.0000 00		0.9999 88	0.0004 62	0.9808 62	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.7824 70	0.9899 71	1.0000 00	0.9999 05	1.0000 00
Cerrado	2015	0.9920 80	0.8656 27	1.0000 00	0.9999 88		0.0001 85	0.7242 40	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.3502 21	0.7824 70	0.9999 79	0.9602 44	0.9999 97
Revegetado	1997	0.0017 02	0.0072 97	0.0003 09	0.0004 62	0.0001 85		0.0143 62	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0604 58	0.0111 56	0.0004 93	0.0033 78	0.0004 07
Revegetado	2002	0.9999 05	1.0000 00	0.9367 30	0.9808 62	0.7242 40	0.0143 62		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.9999 98	1.0000 00	0.9844 14	0.9999 99	0.9719 40
Revegetado	2008	0.0001 48		0.0102 50	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48						
Revegetado	2011	0.0001 48	0.0102 50		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48						
Revegetado	2015	0.0001 48		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48								
Substrato	1997	0.9767 20	0.9998 50	0.6403 28	0.7824 70	0.3502 21	0.0604 58	0.9999 98	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48		0.9999 88	0.8006 36	0.9963 90	0.7442 11
Substrato	2002	0.9999 79	1.0000 00	0.9602 44	0.9899 71	0.7824 70	0.0111 56	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.9999 88		0.9920 80	1.0000 00	0.9844 14
Substrato	2008	1.0000 00	0.9980 00	1.0000 00	1.0000 00	0.9999 79	0.0004 93	0.9844 14	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.8006 36	0.9920 80		0.9999 41	1.0000 00
Substrato	2011	1.0000 00	1.0000 00	0.9985 53	0.9999 05	0.9602 44	0.0033 78	0.9999 99	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.9963 90	1.0000 00	0.9999 41		0.9997 70
Substrato	2015	0.9999 97	0.9952 53	1.0000 00	1.0000 00	0.9999 97	0.0004 07	0.9719 40	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.7442 11	0.9844 14	1.0000 00	0.9997 70	

Tabela 16 Tukey HSD test, variável Ca; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		0.9950 04	1.0000 00	0.0009 66	0.9998 28	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 69	0.0118 56	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.9888 17	1.0000 00
Cerrado	2002	0.9950 04		0.9998 28	0.0204 77	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0009 66	0.1838 22	0.0001 48	0.9950 04	0.9993 64	0.9791 25	1.0000 00	0.9980 70
Cerrado	2008	1.0000 00	0.9998 28		0.0021 91	0.9999 99	0.0001 48	0.0001 48	0.0002 08	0.0267 55	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.9993 64	1.0000 00
Cerrado	2011	0.0009 66	0.0204 77	0.0021 91		0.0089 64	0.0347 97	0.0001 48	0.9950 04	0.9993 64	0.0001 48	0.0009 66	0.0016 57	0.0006 00	0.0267 55	0.0012 63
Cerrado	2015	0.9998 28	1.0000 00	0.9999 99	0.0089 64		0.0001 48	0.0001 48	0.0004 68	0.0941 90	0.0001 48	0.9998 28	0.9999 95	0.9982 58	1.0000 00	0.9999 64
Revegetação	1997	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0347 97	0.0001 48		0.0001 48	0.3885 80	0.0029 02	0.0038 54	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Revegetação	2002	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48		0.0001 48	0.0001 48	0.0005 86	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Revegetação	2008	0.0001 69	0.0009 66	0.0002 08	0.9950 04	0.0004 68	0.3885 80	0.0001 48		0.6661 70	0.0001 49	0.0001 69	0.0001 91	0.0001 59	0.0012 63	0.0001 78
Revegetação	2011	0.0118 56	0.1838 22	0.0267 55	0.9993 64	0.0941 90	0.0029 02	0.0001 48	0.6661 70		0.0001 48	0.0118 56	0.0204 77	0.0069 65	0.2253 84	0.0155 97
Revegetação	2015	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0038 54	0.0005 86	0.0001 49	0.0001 48		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Substrato	1997	1.0000 00	0.9950 04	1.0000 00	0.0009 66	0.9998 28	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 69	0.0118 56	0.0001 48		1.0000 00	1.0000 00	0.9888 17	1.0000 00
Substrato	2002	1.0000 00	0.9993 64	1.0000 00	0.0016 57	0.9999 95	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 91	0.0204 77	0.0001 48	1.0000 00		1.0000 00	0.9980 70	1.0000 00
Substrato	2008	1.0000 00	0.9791 25	1.0000 00	0.0006 00	0.9982 58	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 59	0.0069 65	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00		0.9620 21	1.0000 00
Substrato	2011	0.9888 17	1.0000 00	0.9993 64	0.0267 55	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 48	0.0012 63	0.2253 84	0.0001 48	0.9888 17	0.9980 70	0.9620 21		0.9950 04
Substrato	2015	1.0000 00	0.9980 70	1.0000 00	0.0012 63	0.9999 64	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 78	0.0155 97	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.9950 04	

Tabela 17 Tukey HSD test, variável Magnésio; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		0.0829 37	0.9999 63	0.0829 37	0.9595 47	0.0003 45	0.0001 48	0.0134 49	0.0002 07	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Cerrado	2002	0.0829 37		0.3560 04	1.0000 00	0.8243 24	0.5935 82	0.0001 53	0.9999 63	0.3560 04	0.0001 48	0.0451 86	0.0901 96	0.0413 09	0.0377 40	0.1964 33
Cerrado	2008	0.9999 63	0.3560 04		0.3560 04	0.9999 63	0.0018 77	0.0001 48	0.0829 37	0.0007 36	0.0001 48	0.9989 18	0.9999 80	0.9984 17	0.9977 17	1.0000 00
Cerrado	2011	0.0829 37	1.0000 00	0.3560 04		0.8243 24	0.5935 82	0.0001 53	0.9999 63	0.3560 04	0.0001 48	0.0451 86	0.0901 96	0.0413 09	0.0377 40	0.1964 33
Cerrado	2015	0.9595 47	0.8243 24	0.9999 63	0.8243 24		0.0134 49	0.0001 48	0.3560 04	0.0050 45	0.0001 48	0.8773 70	0.9667 35	0.8608 29	0.8431 27	0.9977 17
Revegetad o	1997	0.0003 45	0.5935 82	0.0018 77	0.5935 82	0.0134 49		0.0050 45	0.9595 47	1.0000 00	0.0001 48	0.0002 41	0.0003 68	0.0002 32	0.0002 14	0.0008 08
Revegetad o	2002	0.0001 48	0.0001 53	0.0001 48	0.0001 53	0.0001 48	0.0050 45		0.0002 07	0.0134 49	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Revegetad o	2008	0.0134 49	0.9999 63	0.0829 37	0.9999 63	0.3560 04	0.9595 47	0.0002 07		0.8243 24	0.0001 48	0.0067 84	0.0148 03	0.0061 49	0.0055 71	0.0377 40
Revegetad o	2011	0.0002 07	0.3560 04	0.0007 36	0.3560 04	0.0050 45	1.0000 00	0.0134 49	0.8243 24		0.0001 48	0.0001 73	0.0002 14	0.0001 70	0.0001 68	0.0003 68
Revegetad o	2015	0.0001 48		0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48								
Substrato	1997	1.0000 00	0.0451 86	0.9989 18	0.0451 86	0.8773 70	0.0002 41	0.0001 48	0.0067 84	0.0001 73	0.0001 48		1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00	0.9999 90
Substrato	2002	1.0000 00	0.0901 96	0.9999 80	0.0901 96	0.9667 35	0.0003 68	0.0001 48	0.0148 03	0.0002 14	0.0001 48	1.0000 00		1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00
Substrato	2008	1.0000 00	0.0413 09	0.9984 17	0.0413 09	0.8608 29	0.0002 32	0.0001 48	0.0061 49	0.0001 70	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00		1.0000 00	0.9999 80
Substrato	2011	1.0000 00	0.0377 40	0.9977 17	0.0377 40	0.8431 27	0.0002 14	0.0001 48	0.0055 71	0.0001 68	0.0001 48	1.0000 00	1.0000 00	1.0000 00		0.9999 63
Substrato	2015	1.0000 00	0.1964 33	1.0000 00	0.1964 33	0.9977 17	0.0008 08	0.0001 48	0.0377 40	0.0003 68	0.0001 48	0.9999 90	1.0000 00	0.9999 80	0.9999 63	

Tabela 18 Tukey HSD test, variável AI; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		0.8984	0.0002	0.0003	0.8984	0.0003	0.0003	1.0000	0.0003	0.0058	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
	7		95	62	01	95	01	01	00	01	17	01	01	01	01	01
Cerrado	200	0.8984		0.0001	0.0184	1.0000	0.0184	0.0184	0.8984	0.0184	0.2963	0.0184	0.0184	0.0184	0.0184	0.0184
	2	95		48	22	00	22	22	95	22	92	22	22	22	22	22
Cerrado	200	0.0002	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	62	48		48	48	48	48	62	48	48	48	48	48	48	48
Cerrado	201	0.0003	0.0184	0.0001		0.0184	1.0000	1.0000	0.0003	1.0000	0.9902	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	1	01	22	48		22	00	00	01	00	10	00	00	00	00	00
Cerrado	201	0.8984	1.0000	0.0001	0.0184		0.0184	0.0184	0.8984	0.0184	0.2963	0.0184	0.0184	0.0184	0.0184	0.0184
	5	95	00	48	22		22	22	95	22	92	22	22	22	22	22
Revegetado	199	0.0003	0.0184	0.0001	1.0000	0.0184		1.0000	0.0003	1.0000	0.9902	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	7	01	22	48	00	22		00	01	00	10	00	00	00	00	00
Revegetado	200	0.0003	0.0184	0.0001	1.0000	0.0184	1.0000		0.0003	1.0000	0.9902	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	2	01	22	48	00	22	00		01	00	10	00	00	00	00	00
Revegetado	200	1.0000	0.8984	0.0002	0.0003	0.8984	0.0003	0.0003		0.0003	0.0058	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
	8	00	95	62	01	95	01	01		01	17	01	01	01	01	01
Revegetado	201	0.0003	0.0184	0.0001	1.0000	0.0184	1.0000	1.0000	0.0003		0.9902	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	1	01	22	48	00	22	00	00	01		10	00	00	00	00	00
Revegetado	201	0.0058	0.2963	0.0001	0.9902	0.2963	0.9902	0.9902	0.0058	0.9902		0.9902	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902
	5	17	92	48	10	92	10	10	17	10		10	10	10	10	10
Substrato	199	0.0003	0.0184	0.0001	1.0000	0.0184	1.0000	1.0000	0.0003	1.0000	0.9902		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	7	01	22	48	00	22	00	00	01	00	10		00	00	00	00
Substrato	200	0.0003	0.0184	0.0001	1.0000	0.0184	1.0000	1.0000	0.0003	1.0000	0.9902	1.0000		1.0000	1.0000	1.0000
	2	01	22	48	00	22	00	00	01	00	10	00		00	00	00
Substrato	200	0.0003	0.0184	0.0001	1.0000	0.0184	1.0000	1.0000	0.0003	1.0000	0.9902	1.0000	1.0000		1.0000	1.0000
	8	01	22	48	00	22	00	00	01	00	10	00	00		00	00
Substrato	201	0.0003	0.0184	0.0001	1.0000	0.0184	1.0000	1.0000	0.0003	1.0000	0.9902	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000
	1	01	22	48	00	22	00	00	01	00	10	00	00	00		00
Substrato	201	0.0003	0.0184	0.0001	1.0000	0.0184	1.0000	1.0000	0.0003	1.0000	0.9902	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
	5	01	22	48	00	22	00	00	01	00	10	00	00	00	00	

Tabela 19 Tukey HSD test, variável Acidez Potencial; ; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		0.5871	0.9870	0.0047	0.8068	0.3090	0.0002	0.0001	0.0001	0.9999	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	7		83	72	97	62	11	12	48	48	18	48	48	48	48	48
Cerrado	200	0.5871		0.9994	0.0001	0.0120	0.0014	0.0001	0.0001	0.0001	0.9678	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	2	83		27	52	53	66	48	48	48	50	48	48	48	48	48
Cerrado	200	0.9870	0.9994		0.0002	0.1179	0.0177	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	72	27		59	92	14	49	48	48	00	48	48	48	48	48
Cerrado	201	0.0047	0.0001	0.0002		0.3639	0.8573	0.9678	0.0001	0.1179	0.0006	0.0001	0.0001	0.0536	0.0018	0.0028
	1	97	52	59		18	09	50	48	92	24	52	72	27	98	21
Cerrado	201	0.8068	0.0120	0.1179	0.3639		0.9999	0.0155	0.0001	0.0002	0.3090	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	62	53	92	18		18	89	48	59	11	48	48	81	48	49
Revegeta do	199	0.3090	0.0014	0.0177	0.8573	0.9999		0.1059	0.0001	0.0012	0.0602	0.0001	0.0001	0.0005	0.0001	0.0001
	7	11	66	14	09	18		54	48	92	96	48	48	60	54	58
Revegeta do	200	0.0002	0.0001	0.0001	0.9678	0.0155	0.1059		0.0001	0.8795	0.0001	0.0005	0.0021	0.6866	0.0758	0.1059
	2	12	48	49	50	89	54		48	09	52	60	63	85	91	54
Revegeta do	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	48	48	48	48	48	48	48		48	48	48	48	48	48	48
Revegeta do	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.1179	0.0002	0.0012	0.8795	0.0001		0.0001	0.0476	0.1611	1.0000	0.9174	0.9582
	1	48	48	48	92	59	92	09	48		48	34	33	00	36	19
Revegeta do	201	0.9999	0.9678	1.0000	0.0006	0.3090	0.0602	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	18	50	00	24	11	96	52	48	48		48	48	48	48	48
Substrato	199	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0005	0.0001	0.0476	0.0001		0.9999	0.1059	0.7789	0.6866
	7	48	48	48	52	48	48	60	48	34	48		99	54	19	85
Substrato	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0021	0.0001	0.1611	0.0001	0.9999		0.3090	0.9757	0.9466
	2	48	48	48	72	48	48	63	48	33	48	99		11	52	84
Substrato	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0536	0.0001	0.0005	0.6866	0.0001	1.0000	0.0001	0.1059	0.3090		0.9870	0.9958
	8	48	48	48	27	81	60	85	48	00	48	54	11		72	59
Substrato	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0018	0.0001	0.0001	0.0758	0.0001	0.9174	0.0001	0.7789	0.9757	0.9870		1.0000
	1	48	48	48	98	48	54	91	48	36	48	19	52	72		00
Substrato	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0028	0.0001	0.0001	0.1059	0.0001	0.9582	0.0001	0.6866	0.9466	0.9958	1.0000	
	5	48	48	48	21	49	58	54	48	19	48	85	84	59	00	

Tabela 20 Tukey HSD test, variável CTC; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Cerrado	1997		0.6308	0.9999	0.9988	0.9999	1.0000	0.0502	0.0001	0.2513	0.0001	0.0001	0.0001	0.0005	0.0004	0.0002	
			94	27	60	27	00	01	48	96	53	48	50	58	58	34	
	2002	0.6308		0.9767	0.1185	0.1866	0.4425	0.9767	0.0001	0.0012	0.0044	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
		94		04	04	25	37	04	48	83	58	48	48	48	48	48	48
	2008	0.9999	0.9767		0.8550	0.9379	0.9978	0.2660	0.0001	0.0465	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
27		04		68	29	54	73	48	57	18	48	48	82	73	54		
2011	0.9988	0.1185	0.8550		1.0000	0.9999	0.0037	0.0001	0.8550	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0073	0.0057	0.0017	
	60	04	68		00	73	69	48	68	48	63	11	61	34	74		
2015	0.9999	0.1866	0.9379	1.0000		1.0000	0.0067	0.0001	0.7332	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0040	0.0031	0.0010	
	27	25	29	00		00	73	48	77	48	55	79	97	81	09		
Revegetado	1997	1.0000	0.4425	0.9978	0.9999	1.0000		0.0250	0.0001	0.4034	0.0001	0.0001	0.0001	0.0010	0.0008	0.0003	
		00	37	54	73	00		62	48	00	50	49	54	92	66	43	
2002	0.0502	0.9767	0.2660	0.0037	0.0067	0.0250		0.0001	0.0001	0.1354	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
	01	04	73	69	73	62		48	63	40	48	48	48	48	48	48	
2008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0031	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
	48	48	48	48	48	48	48		48	81	48	48	48	48	48	48	
2011	0.2513	0.0012	0.0465	0.8550	0.7332	0.4034	0.0001	0.0001		0.0001	0.0037	0.0121	0.4034	0.3480	0.1543		
	96	83	57	68	77	00	63	48		48	69	20	00	35	20		
2015	0.0001	0.0044	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.1354	0.0031	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	
	53	58	18	48	48	50	40	81	48		48	48	48	48	48	48	
Substrato	1997	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0037	0.0001		1.0000	0.7134	0.7713	0.9538	
		48	48	48	63	55	49	48	48	69	48		00	98	26	77	
2002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0121	0.0001	1.0000		0.9287	0.9538	0.9978	
	50	48	48	11	79	54	48	48	20	48	00		03	77	54		
2008	0.0005	0.0001	0.0001	0.0073	0.0040	0.0010	0.0001	0.0001	0.4034	0.0001	0.7134	0.9287		1.0000	0.9999		
	58	48	82	61	97	92	48	48	00	48	98	03		00	99		
2011	0.0004	0.0001	0.0001	0.0057	0.0031	0.0008	0.0001	0.0001	0.3480	0.0001	0.7713	0.9538	1.0000		1.0000		
	58	48	73	34	81	66	48	48	35	48	26	77	00		00		
2015	0.0002	0.0001	0.0001	0.0017	0.0010	0.0003	0.0001	0.0001	0.1543	0.0001	0.9538	0.9978	0.9999	1.0000			
	34	48	54	74	09	43	48	48	20	48	77	54	99	00			

Tabela 21 Tukey HSD test, variável % V; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		0.0312	0.7630	0.0001	0.4135	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9699	0.0001	0.0001
			05	97	48	67	48	48	86	48	48	48	48	48	15	48
Cerrado	2002	0.0312		0.8585	0.0001	0.9903	0.0001	0.0001	0.5292	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.5292	0.0001	0.0030
		05		22	48	44	48	48	02	48	48	48	48	48	02	86
Cerrado	2008	0.7630	0.8585		0.0001	0.9999	0.0001	0.0001	0.0125	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9999	0.0001	0.0001
		97	22		48	99	48	48	62	48	48	48	48	48	99	48
Cerrado	2011	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0482	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.9999	0.0199	0.0001	0.7630	0.0733
		48	48	48		48	31	48	75	48	48	77	15	48	97	37
Cerrado	2015	0.4135	0.9903	0.9999	0.0001		0.0001	0.0001	0.0482	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9978	0.0001	0.0002
		67	44	99	48		48	48	31	48	48	48	48	48	10	48
Revegetado	1997	0.0001	0.0001	0.0001	0.0482	0.0001		0.0001	0.0001	0.0005	0.0005	0.0078	1.0000	0.0001	0.0003	0.0001
		48	48	48	31	48		48	48	12	12	45	00	48	63	50
Revegetado	2002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
		48	48	48	48	48	48		48	50	50	48	48	48	48	48
Revegetado	2008	0.0001	0.5292	0.0125	0.0002	0.0482	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0011	0.0001	0.0030	0.0312	0.5292
		86	02	62	75	31	48	48		48	48	86	48	27	05	02
Revegetado	2011	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0005	0.0001	0.0001		1.0000	0.0001	0.0011	0.0001	0.0001	0.0001
		48	48	48	48	48	12	50	48		00	48	86	48	48	48
Revegetado	2015	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0005	0.0001	0.0001	1.0000		0.0001	0.0011	0.0001	0.0001	0.0001
		48	48	48	48	48	12	50	48	00		48	86	48	48	48
Substrato	1997	0.0001	0.0001	0.0001	0.9999	0.0001	0.0078	0.0001	0.0011	0.0001	0.0001		0.0030	0.0001	0.9903	0.3110
		48	48	48	77	48	45	48	86	48	48		27	48	44	60
Substrato	2002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0199	0.0001	1.0000	0.0001	0.0001	0.0011	0.0011	0.0030		0.0001	0.0002	0.0001
		48	48	48	15	48	00	48	48	86	86	27		48	16	48
Substrato	2008	0.9699	0.5292	0.9999	0.0001	0.9978	0.0001	0.0001	0.0030	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001
		15	02	99	48	10	48	48	27	48	48	48	48	48		48
Substrato	2011	0.0001	0.0001	0.0001	0.7630	0.0001	0.0003	0.0001	0.0312	0.0001	0.0001	0.9903	0.0002	0.0001		0.9699
		48	86	48	97	48	63	48	05	48	48	44	16	48		15
Substrato	2015	0.0001	0.0030	0.0001	0.0733	0.0002	0.0001	0.0001	0.5292	0.0001	0.0001	0.3110	0.0001	0.0001	0.9699	
		48	27	59	37	16	50	48	02	48	48	60	48	50	15	

Tabela 22 Tukey HSD test, variável B; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc* ; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		0.4425	0.9998	0.0162	0.1153	0.0028	0.4957	0.9186	0.0018	0.0001	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028
			85	85	51	64	78	20	28	64	48	78	78	78	78	78
Cerrado	2002	0.4425		0.9186	0.9430	0.9999	0.6055	1.0000	0.9998	0.4957	0.0001	0.6055	0.6055	0.6055	0.6055	0.6055
		85		28	70	67	22	00	85	20	48	22	22	22	22	22
Cerrado	2008	0.9998	0.9186		0.1153	0.4957	0.0246	0.9430	0.9998	0.0162	0.0001	0.0246	0.0246	0.0246	0.0246	0.0246
		85	28		64	20	76	70	85	51	48	76	76	76	76	76
Cerrado	2011	0.0162	0.9430	0.1153		0.9998	0.9999	0.9186	0.4957	0.9998	0.0001	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
		51	70	64		85	92	28	20	85	48	92	92	92	92	92
Cerrado	2015	0.1153	0.9999	0.4957	0.9998		0.9619	0.9998	0.9430	0.9186	0.0001	0.9619	0.9619	0.9619	0.9619	0.9619
		64	67	20	85		41	85	70	28	48	41	41	41	41	41
Revegetação	1997	0.0028	0.6055	0.0246	0.9999	0.9619		0.5502	0.1624	1.0000	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
		78	22	76	92	41		84	73	00	48	00	00	00	00	00
Revegetação	2002	0.4957	1.0000	0.9430	0.9186	0.9998	0.5502		0.9999	0.4425	0.0001	0.5502	0.5502	0.5502	0.5502	0.5502
		20	00	70	28	85	84		67	85	48	84	84	84	84	84
Revegetação	2008	0.9186	0.9998	0.9998	0.4957	0.9430	0.1624	0.9999		0.1153	0.0001	0.1624	0.1624	0.1624	0.1624	0.1624
		28	85	85	20	70	73	67		64	48	73	73	73	73	73
Revegetação	2011	0.0018	0.4957	0.0162	0.9998	0.9186	1.0000	0.4425	0.1153		0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
		64	20	51	85	28	00	85	64		48	00	00	00	00	00
Revegetação	2015	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
		48	48	48	48	48	48	48	48	48		48	48	48	48	48
Substrato	1997	0.0028	0.6055	0.0246	0.9999	0.9619	1.0000	0.5502	0.1624	1.0000	0.0001		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
		78	22	76	92	41	00	84	73	00	48		00	00	00	00
Substrato	2002	0.0028	0.6055	0.0246	0.9999	0.9619	1.0000	0.5502	0.1624	1.0000	0.0001	1.0000		1.0000	1.0000	1.0000
		78	22	76	92	41	00	84	73	00	48	00		00	00	00
Substrato	2008	0.0028	0.6055	0.0246	0.9999	0.9619	1.0000	0.5502	0.1624	1.0000	0.0001	1.0000	1.0000		1.0000	1.0000
		78	22	76	92	41	00	84	73	00	48	00	00		00	00
Substrato	2011	0.0028	0.6055	0.0246	0.9999	0.9619	1.0000	0.5502	0.1624	1.0000	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000
		78	22	76	92	41	00	84	73	00	48	00	00	00		00
Substrato	2015	0.0028	0.6055	0.0246	0.9999	0.9619	1.0000	0.5502	0.1624	1.0000	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
		78	22	76	92	41	00	84	73	00	48	00	00	00	00	

Tabela 23 Tukey HSD test, variável Zn; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		1.0000	0.9879	0.9523	1.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	7		00	30	64	00	48	48	48	48	48	65	00	00	00	00
Cerrado	200	1.0000		0.9896	0.9571	1.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9080	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	2	00		11	63	00	48	48	48	48	48	91	00	00	00	00
Cerrado	200	0.9879	0.9896		1.0000	0.9472	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	0.9993	0.9998	0.9694	0.9815
	8	30	11		00	02	48	48	48	55	48	00	03	95	93	88
Cerrado	201	0.9523	0.9571	1.0000		0.8644	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	0.9935	0.9982	0.9080	0.9357
	1	64	63	00		56	48	48	48	64	48	00	75	85	91	44
Cerrado	201	1.0000	1.0000	0.9472	0.8644		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.7752	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000
	5	00	00	02	56		48	48	48	48	48	20	98	72	00	00
Revegetado	199	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.1901	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	7	48	48	48	48	48		48	48	03	48	48	48	48	48	48
Revegetado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.1901	0.0001	0.9357	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	2	48	48	48	48	48	48		03	48	44	48	48	48	48	48
Revegetado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.1901		0.0001	0.0041	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	48	48	48	48	48	48	03		48	16	48	48	48	48	48
Revegetado	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.1901	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	1	48	48	55	64	48	03	48	48		48	77	48	48	48	48
Revegetado	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9357	0.0041	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	48	48	48	48	48	48	44	16	48		48	48	48	48	48
Substrato	199	0.9001	0.9080	1.0000	1.0000	0.7752	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.9789	0.9924	0.8335	0.8739
	7	65	91	00	00	20	48	48	48	77	48		82	10	96	78
Substrato	200	1.0000	1.0000	0.9993	0.9935	0.9999	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9789		1.0000	1.0000	1.0000
	2	00	00	03	75	98	48	48	48	48	48	82		00	00	00
Substrato	200	1.0000	1.0000	0.9998	0.9982	0.9999	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9924	1.0000		0.9999	0.9999
	8	00	00	95	85	72	48	48	48	48	48	10	00		96	99
Substrato	201	1.0000	1.0000	0.9694	0.9080	1.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.8335	1.0000	0.9999		1.0000
	1	00	00	93	91	00	48	48	48	48	48	96	00	96		00
Substrato	201	1.0000	1.0000	0.9815	0.9357	1.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.8739	1.0000	0.9999	1.0000	
	5	00	00	88	44	00	48	48	48	48	48	78	00	99	00	

Tabela 24 Tukey HSD test, variável Fe; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc* ; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		1.0000	0.0021	0.0067	0.2848	1.0000	0.9539	0.0001	0.0093	0.2398	0.0004	0.0037	0.0010	0.0003	0.0102
	7		00	45	93	46	00	40	48	98	26	35	00	87	11	85
Cerrado	200	1.0000		0.0040	0.0036	0.1826	1.0000	0.9887	0.0001	0.0049	0.3614	0.0002	0.0019	0.0006	0.0002	0.0054
	2	00		53	05	06	00	39	48	97	93	90	59	14	30	79
Cerrado	200	0.0021	0.0040		0.0001	0.0001	0.0033	0.0984	0.0001	0.0001	0.7735	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	45	53		48	48	56	43	48	48	12	48	48	48	48	48
Cerrado	201	0.0067	0.0036	0.0001		0.9268	0.0043	0.0002	0.0001	1.0000	0.0001	0.9972	1.0000	0.9999	0.9873	1.0000
	1	93	05	48		44	58	34	48	00	49	19	00	83	20	00
Cerrado	201	0.2848	0.1826	0.0001	0.9268		0.2098	0.0088	0.0001	0.9587	0.0003	0.2959	0.8327	0.5401	0.2088	0.9655
	5	46	06	48	44		03	67	48	83	51	87	25	98	20	71
Revegetado	199	1.0000	1.0000	0.0033	0.0043	0.2098		0.9819	0.0001	0.0060	0.3218	0.0003	0.0023	0.0007	0.0002	0.0066
	7	00	00	56	58	03		19	48	43	66	23	67	23	49	19
Revegetado	200	0.9539	0.9887	0.0984	0.0002	0.0088	0.9819		0.0001	0.0002	0.9848	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
	2	40	39	43	34	67	19		48	71	05	50	85	56	49	84
Revegetado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	48	48	48	48	48	48	48		48	48	48	48	48	48	48
Revegetado	201	0.0093	0.0049	0.0001	1.0000	0.9587	0.0060	0.0002	0.0001		0.0001	0.9922	1.0000	0.9998	0.9726	1.0000
	1	98	97	48	00	83	43	71	48		49	63	00	86	85	00
Revegetado	201	0.2398	0.3614	0.7735	0.0001	0.0003	0.3218	0.9848	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	26	93	12	49	51	66	05	48	49		48	48	48	48	49
Substrato	199	0.0004	0.0002	0.0001	0.9972	0.2959	0.0003	0.0001	0.0001	0.9922	0.0001		0.9997	1.0000	1.0000	0.9900
	7	35	90	48	19	87	23	50	48	63	48		70	00	00	34
Substrato	200	0.0037	0.0019	0.0001	1.0000	0.8327	0.0023	0.0001	0.0001	1.0000	0.0001	0.9997		1.0000	0.9980	1.0000
	2	00	59	48	00	25	67	85	48	00	48	70		00	32	00
Substrato	200	0.0010	0.0006	0.0001	0.9999	0.5401	0.0007	0.0001	0.0001	0.9998	0.0001	1.0000	1.0000		0.9999	0.9998
	8	87	14	48	83	98	23	56	48	86	48	00	00		98	17
Substrato	201	0.0003	0.0002	0.0001	0.9873	0.2088	0.0002	0.0001	0.0001	0.9726	0.0001	1.0000	0.9980	0.9999		0.9669
	1	11	30	48	20	20	49	49	48	85	48	00	32	98		13
Substrato	201	0.0102	0.0054	0.0001	1.0000	0.9655	0.0066	0.0002	0.0001	1.0000	0.0001	0.9900	1.0000	0.9998	0.9669	
	5	85	79	48	00	71	19	84	48	00	49	34	00	17	13	

Tabela 25 Tukey HSD test, variável Manganês; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		0.0001	0.0005	0.9954	0.0001	0.0484	0.8943	0.0186	0.0001	1.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	7		48	46	65	68	65	75	55	56	00	48	48	56	48	48
Cerrado	200	0.0001		0.0001	0.0001	0.0091	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	2	48		48	48	28	48	48	56	48	48	48	48	48	48	48
Cerrado	200	0.0005	0.0001		0.0001	0.0001	0.8714	0.0424	0.0001	0.9929	0.0002	0.0001	0.0001	0.9929	0.0004	0.0068
	8	46	48		58	48	43	62	48	44	42	98	52	44	86	26
Cerrado	201	0.9954	0.0001	0.0001		0.0009	0.0024	0.2267	0.2509	0.0001	0.9999	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	1	65	48	58		10	48	76	87	48	91	48	48	48	48	48
Cerrado	201	0.0001	0.0091	0.0001	0.0009		0.0001	0.0001	0.5392	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	68	28	48	10		48	48	86	48	58	48	48	48	48	48
Revegeta do	199	0.0484	0.0001	0.8714	0.0024	0.0001		0.8179	0.0001	0.1834	0.0140	0.0001	0.0001	0.1834	0.0001	0.0001
	7	65	48	43	48	48		42	48	97	62	48	48	97	49	83
Revegeta do	200	0.8943	0.0001	0.0424	0.2267	0.0001	0.8179		0.0002	0.0018	0.6134	0.0001	0.0001	0.0018	0.0001	0.0001
	2	75	48	62	76	48	42		99	30	08	48	48	30	48	48
Revegeta do	200	0.0186	0.0001	0.0001	0.2509	0.5392	0.0001	0.0002		0.0001	0.0628	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	55	56	48	87	86	48	99		48	45	48	48	48	48	48
Revegeta do	201	0.0001	0.0001	0.9929	0.0001	0.0001	0.1834	0.0018	0.0001		0.0001	0.0021	0.0003	1.0000	0.0105	0.1310
	1	56	48	44	48	48	97	30	48		49	14	59	00	48	09
Revegeta do	201	1.0000	0.0001	0.0002	0.9999	0.0002	0.0140	0.6134	0.0628	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	00	48	42	91	58	62	08	45	49		48	48	49	48	48
Substrato	199	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0021	0.0001		0.9999	0.0021	0.9999	0.9146
	7	48	48	98	48	48	48	48	48	14	48		49	14	97	62
Substrato	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0003	0.0001	0.9999		0.0003	0.9789	0.4701
	2	48	48	52	48	48	48	48	48	59	48	49		59	36	18
Substrato	200	0.0001	0.0001	0.9929	0.0001	0.0001	0.1834	0.0018	0.0001	1.0000	0.0001	0.0021	0.0003		0.0105	0.1310
	8	56	48	44	48	48	97	30	48	00	49	14	59		48	09
Substrato	201	0.0001	0.0001	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0105	0.0001	0.9999	0.9789	0.0105		0.9983
	1	48	48	86	48	48	49	48	48	48	48	97	36	48		39
Substrato	201	0.0001	0.0001	0.0068	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.1310	0.0001	0.9146	0.4701	0.1310	0.9983	
	5	48	48	26	48	48	83	48	48	09	48	62	18	09	39	

Tabela 26 Tukey HSD test, variável Cu; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		1.0000 00	0.0001 48	0.0002 03	0.9999 14	0.0001 81	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.3254 77	0.5781 13	1.0000 00	1.0000 00
Cerrado	2002	1.0000 00		0.0001 48	0.0002 72	0.9999 99	0.0002 18	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 49	0.4653 57	0.7321 69	1.0000 00	1.0000 00
Cerrado	2008	0.0001 48	0.0001 48		0.0002 47	0.0001 48	0.0003 05	0.2795 12	0.0124 46	0.0153 34	0.9982 65	0.0065 72	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Cerrado	2011	0.0002 03	0.0002 72	0.0002 47		0.0008 04	1.0000 00	0.1507 15	0.0001 48	0.8642 64	0.0022 44	0.9660 10	0.0896 11	0.0346 39	0.0001 93	0.0002 72
Cerrado	2015	0.9999 14	0.9999 99	0.0001 48	0.0008 04		0.0005 54	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 50	0.0001 48	0.0001 54	0.8248 87	0.9660 10	0.9997 89	0.9999 99
Revegeta do	1997	0.0001 81	0.0002 18	0.0003 05	1.0000 00	0.0005 54		0.2077 82	0.0001 48	0.9263 06	0.0034 53	0.9872 44	0.0619 24	0.0231 74	0.0001 74	0.0002 18
Revegeta do	2002	0.0001 48	0.0001 48	0.2795 12	0.1507 15	0.0001 48	0.2077 82		0.0001 51	0.9872 44	0.8981 54	0.9263 06	0.0001 62	0.0001 51	0.0001 48	0.0001 48
Revegeta do	2008	0.0001 48	0.0001 48	0.0124 46	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 51		0.0001 48	0.0008 04	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Revegeta do	2011	0.0001 48	0.0001 48	0.0153 34	0.8642 64	0.0001 50	0.9263 06	0.9872 44	0.0001 48		0.1774 32	1.0000 00	0.0009 77	0.0004 00	0.0001 48	0.0001 48
Revegeta do	2015	0.0001 48	0.0001 48	0.9982 65	0.0022 44	0.0001 48	0.0034 53	0.8981 54	0.0008 04	0.1774 32		0.0896 11	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48
Substrato	1997	0.0001 48	0.0001 49	0.0065 72	0.9660 10	0.0001 54	0.9872 44	0.9263 06	0.0001 48	1.0000 00	0.0896 11		0.0022 44	0.0008 04	0.0001 48	0.0001 49
Substrato	2002	0.3254 77	0.4653 57	0.0001 48	0.0896 11	0.8248 87	0.0619 24	0.0001 62	0.0001 48	0.0009 77	0.0001 48	0.0022 44		1.0000 00	0.2915 71	0.4653 57
Substrato	2008	0.5781 13	0.7321 69	0.0001 48	0.0346 39	0.9660 10	0.0231 74	0.0001 51	0.0001 48	0.0004 00	0.0001 48	0.0008 04	1.0000 00		0.5346 54	0.7321 69
Substrato	2011	1.0000 00	1.0000 00	0.0001 48	0.0001 93	0.9997 89	0.0001 74	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.2915 71	0.5346 54		1.0000 00
Substrato	2015	1.0000 00	1.0000 00	0.0001 48	0.0002 72	0.9999 99	0.0002 18	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 48	0.0001 49	0.4653 57	0.7321 69	1.0000 00	

Tabela 27 Tukey HSD test, variável N; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		0.9993	1.0000	0.5908	0.9999	0.3289	0.0001	0.0001	0.7013	0.0001	0.0002	0.0005	0.0176	0.0176	0.0584
	7		44	00	94	98	57	48	48	56	48	11	73	68	68	83
Cerrado	200	0.9993		0.9999	0.9885	1.0000	0.8992	0.0001	0.0001	0.1647	0.0001	0.0001	0.0001	0.0014	0.0014	0.0051
	2	44		99	29	00	71	57	48	08	48	50	68	19	19	24
Cerrado	200	1.0000	0.9999		0.8309	1.0000	0.5721	0.0001	0.0001	0.4439	0.0001	0.0001	0.0002	0.0063	0.0063	0.0226
	8	00	99		56	00	71	49	48	20	48	66	84	95	95	44
Cerrado	201	0.5908	0.9885	0.8309		0.9143	1.0000	0.0006	0.0001	0.0076	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
	1	94	29	56		96	00	69	48	81	48	48	48	72	72	73
Cerrado	201	0.9999	1.0000	1.0000	0.9143		0.7013	0.0001	0.0001	0.3289	0.0001	0.0001	0.0002	0.0038	0.0038	0.0137
	5	98	00	00	96		56	50	48	57	48	57	17	15	15	61
Revegetado	199	0.3289	0.8992	0.5721	1.0000	0.7013		0.0018	0.0001	0.0025	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	7	57	71	71	00	56		91	48	40	48	48	48	54	54	79
Revegetado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0006	0.0001	0.0018		0.0001	0.0001	0.2924	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	2	48	57	49	69	50	91		48	48	01	48	48	48	48	48
Revegetado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0003	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	48	48	48	48	48	48	48		48	14	48	48	48	48	48
Revegetado	201	0.7013	0.1647	0.4439	0.0076	0.3289	0.0025	0.0001	0.0001		0.0001	0.0242	0.1031	0.7937	0.7937	0.9702
	1	56	08	20	81	57	40	48	48		48	82	91	48	48	47
Revegetado	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.2924	0.0003	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	48	48	48	48	48	48	01	14	48		48	48	48	48	48
Substrato	199	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0242	0.0001		0.9999	0.7779	0.7779	0.4616
	7	11	50	66	48	57	48	48	48	82	48		97	31	31	55
Substrato	200	0.0005	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.1031	0.0001	0.9999		0.9833	0.9833	0.8448
	2	73	68	84	48	17	48	48	48	91	48	97		73	73	21
Substrato	200	0.0176	0.0014	0.0063	0.0001	0.0038	0.0001	0.0001	0.0001	0.7937	0.0001	0.7779	0.9833		1.0000	1.0000
	8	68	19	95	72	15	54	48	48	48	48	31	73		00	00
Substrato	201	0.0176	0.0014	0.0063	0.0001	0.0038	0.0001	0.0001	0.0001	0.7937	0.0001	0.7779	0.9833	1.0000		1.0000
	1	68	19	95	72	15	54	48	48	48	48	31	73	00		00
Substrato	201	0.0584	0.0051	0.0226	0.0002	0.0137	0.0001	0.0001	0.0001	0.9702	0.0001	0.4616	0.8448	1.0000	1.0000	
	5	83	24	44	73	61	79	48	48	47	48	55	21	00	00	

ANEXO II – Resultados *Tukey HSD Test*, probabilidades aproximadas para testes *Post Hoc* para as variáveis selecionadas após a Análise dos componentes principais (PCA).

Tabela 28 Tukey HSD test, variável pH em CaCl₂; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		0.3078	0.0305	1.0000	0.4100	0.7604	0.0001	0.6461	0.3078	0.4100	0.0029	0.9996	0.9999	0.1570	1.0000
	7		37	47	00	45	13	59	54	37	45	43	81	99	92	00
Cerrado	200	0.3078		0.9977	0.3078	1.0000	0.0029	0.0001	0.9999	0.0004	1.0000	0.0001	0.0472	0.6461	0.0002	0.3078
	2	37		59	37	00	43	48	99	99	00	48	94	54	71	37
Cerrado	200	0.0305	0.9977		0.0305	0.9901	0.0002	0.0001	0.9266	0.0001	0.9901	0.0001	0.0029	0.1076	0.0001	0.0305
	8	47	59		47	43	71	48	89	59	43	48	43	42	51	47
Cerrado	201	1.0000	0.3078	0.0305		0.4100	0.7604	0.0001	0.6461	0.3078	0.4100	0.0029	0.9996	0.9999	0.1570	1.0000
	1	00	37	47		45	13	59	54	37	45	43	81	99	92	00
Cerrado	201	0.4100	1.0000	0.9901	0.4100		0.0047	0.0001	1.0000	0.0007	1.0000	0.0001	0.0720	0.7604	0.0003	0.4100
	5	45	00	43	45		50	48	00	42	00	49	40	13	55	45
Revegeta do	199	0.7604	0.0029	0.0002	0.7604	0.0047		0.0047	0.0122	0.9999	0.0047	0.3078	0.9977	0.4100	0.9977	0.7604
	7	13	43	71	13	50		50	59	76	50	37	59	45	59	13
Revegeta do	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0047		0.0001	0.0305	0.0001	0.8566	0.0003	0.0001	0.0720	0.0001
	2	59	48	48	59	48	50		48	47	48	10	55	50	40	59
Revegeta do	200	0.6461	0.9999	0.9266	0.6461	1.0000	0.0122	0.0001		0.0018	1.0000	0.0001	0.1570	0.9266	0.0007	0.6461
	8	54	99	89	54	00	59	48		30	00	51	92	89	42	54
Revegeta do	201	0.3078	0.0004	0.0001	0.3078	0.0007	0.9999	0.0305	0.0018		0.0007	0.7604	0.8566	0.1076	1.0000	0.3078
	1	37	99	59	37	42	76	47	30		42	13	10	42	00	37
Revegeta do	201	0.4100	1.0000	0.9901	0.4100	1.0000	0.0047	0.0001	1.0000	0.0007		0.0001	0.0720	0.7604	0.0003	0.4100
	5	45	00	43	45	00	50	48	00	42		49	40	13	55	45
Substrato	199	0.0029	0.0001	0.0001	0.0029	0.0001	0.3078	0.8566	0.0001	0.7604	0.0001		0.0305	0.0007	0.9266	0.0029
	7	43	48	48	43	49	37	10	51	13	49		47	42	89	43
Substrato	200	0.9996	0.0472	0.0029	0.9996	0.0720	0.9977	0.0003	0.1570	0.8566	0.0720	0.0305		0.9693	0.6461	0.9996
	2	81	94	43	81	40	59	55	92	10	40	47		64	54	81
Substrato	200	0.9999	0.6461	0.1076	0.9999	0.7604	0.4100	0.0001	0.9266	0.1076	0.7604	0.0007	0.9693		0.0472	0.9999
	8	99	54	42	99	13	45	50	89	42	13	42	64		94	99
Substrato	201	0.1570	0.0002	0.0001	0.1570	0.0003	0.9977	0.0720	0.0007	1.0000	0.0003	0.9266	0.6461	0.0472		0.1570
	1	92	71	51	92	55	59	40	42	00	55	89	54	94		92
Substrato	201	1.0000	0.3078	0.0305	1.0000	0.4100	0.7604	0.0001	0.6461	0.3078	0.4100	0.0029	0.9996	0.9999	0.1570	
	5	00	37	47	00	45	13	59	54	37	45	43	81	99	92	

Tabela 29 Tukey HSD test, variável P- disp; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetaç ão	An o	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0040	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	7		00	00	00	00	49	48	48	48	48	00	00	00	00	00
Cerrado	200	1.0000		1.0000	1.0000	1.0000	0.0041	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	2	00		00	00	00	16	48	48	48	48	00	00	00	00	00
Cerrado	200	1.0000	1.0000		1.0000	1.0000	0.0039	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	8	00	00		00	00	93	48	48	48	48	00	00	00	00	00
Cerrado	201	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000	0.0041	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	1	00	00	00		00	85	48	48	48	48	00	00	00	00	00
Cerrado	201	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		0.0040	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	5	00	00	00	00		49	48	48	48	48	00	00	00	00	00
Reveget ado	199	0.0040	0.0041	0.0039	0.0041	0.0040		0.0001	0.0001	0.0273	0.0001	0.0039	0.0041	0.0040	0.0040	0.0039
	7	49	16	93	85	49		48	48	46	48	17	27	26	04	71
Reveget ado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.9092	0.0001	0.0320	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	2	48	48	48	48	48	48		84	48	02	48	48	48	48	48
Reveget ado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9092		0.0001	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	48	48	48	48	48	48	84		48	66	48	48	48	48	48
Reveget ado	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0273	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	1	48	48	48	48	48	46	48	48		48	48	48	48	48	48
Reveget ado	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0320	0.0004	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	48	48	48	48	48	48	02	66	48		48	48	48	48	48
Substrat o	199	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0039	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	7	00	00	00	00	00	17	48	48	48	48		00	00	00	00
Substrat o	200	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0041	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000		1.0000	1.0000	1.0000
	2	00	00	00	00	00	27	48	48	48	48	00		00	00	00
Substrat o	200	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0040	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000		1.0000	1.0000
	8	00	00	00	00	00	26	48	48	48	48	00	00		00	00
Substrat o	201	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0040	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000
	1	00	00	00	00	00	04	48	48	48	48	00	00	00		00
Substrat o	201	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0039	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
	5	00	00	00	00	00	71	48	48	48	48	00	00	00	00	

Tabela 30 Tukey HSD test, variável P – reman; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	1997		1.0000	0.9998	0.0110	0.9741	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	0.0005	0.0006	0.1956	0.9998	0.0040	0.0298
			00	01	76	08	48	48	49	00	59	00	53	89	24	48
Cerrado	2002	1.0000		0.9998	0.0106	0.9715	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	0.0005	0.0006	0.2020	0.9999	0.0042	0.0311
		00		41	03	11	48	48	49	00	40	23	83	13	06	11
Cerrado	2008	0.9998	0.9998		0.0011	0.5703	0.0001	0.0001	0.0001	0.9998	0.0001	0.0054	0.6942	1.0000	0.0372	0.2046
		01	41		48	06	48	48	48	51	75	17	86	00	11	03
Cerrado	2011	0.0110	0.0106	0.0011		0.2735	0.0001	0.0173	0.1588	0.0104	0.9951	0.0001	0.0001	0.0012	0.0001	0.0001
		76	03	48		89	48	77	34	63	68	48	49	83	48	48
Cerrado	2015	0.9741	0.9715	0.5703	0.2735		0.0001	0.0001	0.0002	0.9706	0.0207	0.0001	0.0068	0.5991	0.0002	0.0007
		08	11	06	89		48	52	50	84	07	53	84	63	06	79
Revegetado	1997	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0012	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
		48	48	48	48	48		72	10	48	48	48	48	48	48	48
Revegetado	2002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0173	0.0001	0.0012		0.9994	0.0001	0.2418	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
		48	48	48	77	52	72		24	48	39	48	48	48	48	48
Revegetado	2008	0.0001	0.0001	0.0001	0.1588	0.0002	0.0002	0.9994		0.0001	0.8128	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
		49	49	48	34	50	10	24		49	39	48	48	48	48	48
Revegetado	2011	1.0000	1.0000	0.9998	0.0104	0.9706	0.0001	0.0001	0.0001		0.0005	0.0006	0.2040	0.9999	0.0042	0.0315
		00	00	51	63	84	48	48	49		34	30	65	19	66	04
Revegetado	2015	0.0005	0.0005	0.0001	0.9951	0.0207	0.0001	0.2418	0.8128	0.0005		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
		59	40	75	68	07	48	39	39	34		48	48	79	48	48
Substrato	1997	0.0006	0.0006	0.0054	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0006	0.0001		0.5097	0.0048	0.9999	0.9525
		00	23	17	48	53	48	48	48	30	48		00	32	60	73
Substrato	2002	0.1956	0.2020	0.6942	0.0001	0.0068	0.0001	0.0001	0.0001	0.2040	0.0001	0.5097		0.6663	0.9288	0.9998
		53	83	86	49	84	48	48	48	65	48	00		57	38	54
Substrato	2008	0.9998	0.9999	1.0000	0.0012	0.5991	0.0001	0.0001	0.0001	0.9999	0.0001	0.0048	0.6663		0.0335	0.1883
		89	13	00	83	63	48	48	48	19	79	32	57		04	15
Substrato	2011	0.0040	0.0042	0.0372	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0042	0.0001	0.9999	0.9288	0.0335		0.9999
		24	06	11	48	06	48	48	48	66	48	60	38	04		44
Substrato	2015	0.0298	0.0311	0.2046	0.0001	0.0007	0.0001	0.0001	0.0001	0.0315	0.0001	0.9525	0.9998	0.1883	0.9999	
		48	11	03	48	79	48	48	48	04	48	73	54	15	44	

Tabela 31 Tukey HSD test, variável P - total; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		0.9998	1.0000	1.0000	0.9991	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0889	0.0905	0.0674	0.1027	0.0907
	7		96	00	00	64	48	48	48	48	48	06	88	16	34	79
Cerrado	200	0.9998		1.0000	1.0000	1.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.4151	0.4203	0.3437	0.4562	0.4208
	2	96		00	00	00	48	48	48	48	48	20	13	40	23	91
Cerrado	200	1.0000	1.0000		1.0000	0.9999	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.1911	0.1943	0.1497	0.2167	0.1946
	8	00	00		00	96	48	48	48	48	48	49	03	72	33	56
Cerrado	201	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.2365	0.2402	0.1876	0.2663	0.2406
	1	00	00	00		00	48	48	48	48	48	15	08	89	24	21
Cerrado	201	0.9991	1.0000	0.9999	1.0000		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.5230	0.5286	0.4437	0.5668	0.5292
	5	64	00	96	00		48	48	48	48	48	24	29	21	77	53
Revegetado	199	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.9971	1.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	7	48	48	48	48	48		55	49	59	00	48	48	48	48	48
Revegetado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.9999	0.0004	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	2	48	48	48	48	48	55		91	01	72	48	48	48	48	48
Revegetado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9999		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	48	48	48	48	48	49	91		78	50	48	48	48	48	48
Revegetado	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.9971	0.0004	0.0001		0.9999	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	1	48	48	48	48	48	59	01	78		67	48	48	48	48	48
Revegetado	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	0.0001	0.0001	0.9999		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	48	48	48	48	48	00	72	50	67		48	48	48	48	48
Substrato	199	0.0889	0.4151	0.1911	0.2365	0.5230	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	7	06	20	49	15	24	48	48	48	48	48		00	00	00	00
Substrato	200	0.0905	0.4203	0.1943	0.2402	0.5286	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000		1.0000	1.0000	1.0000
	2	88	13	03	08	29	48	48	48	48	48	00		00	00	00
Substrato	200	0.0674	0.3437	0.1497	0.1876	0.4437	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000		1.0000	1.0000
	8	16	40	72	89	21	48	48	48	48	48	00	00		00	00
Substrato	201	0.1027	0.4562	0.2167	0.2663	0.5668	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000		1.0000
	1	34	23	33	24	77	48	48	48	48	48	00	00	00		00
Substrato	201	0.0907	0.4208	0.1946	0.2406	0.5292	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
	5	79	91	56	21	53	48	48	48	48	48	00	00	00	00	

Tabela 32 Tukey HSD test, variável Ca; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc; Graus de liberdade = 30,000

Vegetaç ão	An o	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		0.9950	1.0000	0.0009	0.9998	0.0001	0.0001	0.0001	0.0118	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	0.9888	1.0000
	7		07	00	67	28	48	48	69	65	48	00	00	00	24	00
Cerrado	200	0.9950		0.9998	0.0204	1.0000	0.0001	0.0001	0.0009	0.1839	0.0001	0.9950	0.9993	0.9777	1.0000	0.9980
	2	07		28	92	00	48	48	67	00	48	07	65	58	00	71
Cerrado	200	1.0000	0.9998		0.0021	0.9999	0.0001	0.0001	0.0002	0.0267	0.0001	1.0000	1.0000	0.9999	0.9993	1.0000
	8	00	28		93	99	48	48	08	73	48	00	00	99	65	00
Cerrado	201	0.0009	0.0204	0.0021		0.0089	0.0348	0.0001	0.9950	0.9993	0.0001	0.0009	0.0016	0.0005	0.0267	0.0012
	1	67	92	93		71	20	48	07	65	48	67	58	87	73	64
Cerrado	201	0.9998	1.0000	0.9999	0.0089		0.0001	0.0001	0.0004	0.0942	0.0001	0.9998	0.9999	0.9980	1.0000	0.9999
	5	28	00	99	71		48	48	69	40	48	28	95	71	00	64
Revegetado	199	0.0001	0.0001	0.0001	0.0348	0.0001		0.0001	0.3886	0.0029	0.0038	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	7	48	48	48	20	48		48	90	04	58	48	48	48	48	48
Revegetado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	2	48	48	48	48	48	48		48	48	87	48	48	48	48	48
Revegetado	200	0.0001	0.0009	0.0002	0.9950	0.0004	0.3886	0.0001		0.6662	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0012	0.0001
	8	69	67	08	07	69	90	48		71	49	69	91	58	64	78
Revegetado	201	0.0118	0.1839	0.0267	0.9993	0.0942	0.0029	0.0001	0.6662		0.0001	0.0118	0.0204	0.0067	0.2254	0.0156
	1	65	00	73	65	40	04	48	71		48	65	92	78	72	09
Revegetado	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0038	0.0005	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	48	48	48	48	48	58	87	49	48		48	48	48	48	48
Substrato	199	1.0000	0.9950	1.0000	0.0009	0.9998	0.0001	0.0001	0.0001	0.0118	0.0001		1.0000	1.0000	0.9888	1.0000
	7	00	07	00	67	28	48	48	69	65	48		00	00	24	00
Substrato	200	1.0000	0.9993	1.0000	0.0016	0.9999	0.0001	0.0001	0.0001	0.0204	0.0001	1.0000		1.0000	0.9980	1.0000
	2	00	65	00	58	95	48	48	91	92	48	00		00	71	00
Substrato	200	1.0000	0.9777	0.9999	0.0005	0.9980	0.0001	0.0001	0.0001	0.0067	0.0001	1.0000	1.0000		0.9599	1.0000
	8	00	58	99	87	71	48	48	58	78	48	00	00		01	00
Substrato	201	0.9888	1.0000	0.9993	0.0267	1.0000	0.0001	0.0001	0.0012	0.2254	0.0001	0.9888	0.9980	0.9599		0.9950
	1	24	00	65	73	00	48	48	64	72	48	24	71	01		07
Substrato	201	1.0000	0.9980	1.0000	0.0012	0.9999	0.0001	0.0001	0.0001	0.0156	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	0.9950	
	5	00	71	00	64	64	48	48	78	09	48	00	00	00	07	

Tabela 33 Tukey HSD test, variável Magnésio; Probabilidades aproximadas para o teste *Post Hoc*; Graus de liberdade 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		0.0845	0.9999	0.0845	0.9603	0.0003	0.0001	0.0138	0.0002	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	7		48	65	48	28	53	48	16	10	48	00	00	00	00	00
Cerrado	200	0.0845		0.3597	1.0000	0.8267	0.5974	0.0001	0.9999	0.3597	0.0001	0.0352	0.0845	0.0352	0.0352	0.1854
	2	48		95	00	84	21	53	65	95	48	68	48	68	68	11
Cerrado	200	0.9999	0.3597		0.3597	0.9999	0.0019	0.0001	0.0845	0.0007	0.0001	0.9968	0.9999	0.9968	0.9968	1.0000
	8	65	95		95	65	38	48	48	60	48	74	65	74	74	00
Cerrado	201	0.0845	1.0000	0.3597		0.8267	0.5974	0.0001	0.9999	0.3597	0.0001	0.0352	0.0845	0.0352	0.0352	0.1854
	1	48	00	95		84	21	53	65	95	48	68	48	68	68	11
Cerrado	201	0.9603	0.8267	0.9999	0.8267		0.0138	0.0001	0.3597	0.0052	0.0001	0.8267	0.9603	0.8267	0.8267	0.9968
	5	28	84	65	84		16	48	95	04	48	84	28	84	84	74
Revegetado	199	0.0003	0.5974	0.0019	0.5974	0.0138		0.0052	0.9603	1.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0002	0.0002	0.0007
	7	53	21	38	21	16		04	28	00	48	10	53	10	10	60
Revegetado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0052		0.0002	0.0138	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	2	48	53	48	53	48	04		10	16	48	48	48	48	48	48
Revegetado	200	0.0138	0.9999	0.0845	0.9999	0.3597	0.9603	0.0002		0.8267	0.0001	0.0052	0.0138	0.0052	0.0052	0.0352
	8	16	65	48	65	95	28	10		84	48	04	16	04	04	68
Revegetado	201	0.0002	0.3597	0.0007	0.3597	0.0052	1.0000	0.0138	0.8267		0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0001	0.0003
	1	10	95	60	95	04	00	16	84		48	66	10	66	66	53
Revegetado	201	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	48	48	48	48	48	48	48	48	48		48	48	48	48	48
Substrato	199	1.0000	0.0352	0.9968	0.0352	0.8267	0.0002	0.0001	0.0052	0.0001	0.0001		1.0000	1.0000	1.0000	0.9999
	7	00	68	74	68	84	10	48	04	66	48		00	00	00	65
Substrato	200	1.0000	0.0845	0.9999	0.0845	0.9603	0.0003	0.0001	0.0138	0.0002	0.0001	1.0000		1.0000	1.0000	1.0000
	2	00	48	65	48	28	53	48	16	10	48	00		00	00	00
Substrato	200	1.0000	0.0352	0.9968	0.0352	0.8267	0.0002	0.0001	0.0052	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000		1.0000	0.9999
	8	00	68	74	68	84	10	48	04	66	48	00	00		00	65
Substrato	201	1.0000	0.0352	0.9968	0.0352	0.8267	0.0002	0.0001	0.0052	0.0001	0.0001	1.0000	1.0000	1.0000		0.9999
	1	00	68	74	68	84	10	48	04	66	48	00	00	00		65
Substrato	201	1.0000	0.1854	1.0000	0.1854	0.9968	0.0007	0.0001	0.0352	0.0003	0.0001	0.9999	1.0000	0.9999	0.9999	
	5	00	11	00	11	74	60	48	68	53	48	65	00	65	65	

Tabela 34 Tukey HSD test, variável Fe; Probabilidades aproximadas para o teste Post Hoc; Graus de liberdade = 30,000

Vegetação	Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cerrado	199		1.0000	0.0021	0.0067	0.2848	1.0000	0.9539	0.0001	0.0093	0.2398	0.0004	0.0037	0.0010	0.0003	0.0102
	7		00	45	93	46	00	40	48	98	26	35	00	87	11	85
Cerrado	200	1.0000		0.0040	0.0036	0.1826	1.0000	0.9887	0.0001	0.0049	0.3614	0.0002	0.0019	0.0006	0.0002	0.0054
	2	00		53	05	06	00	39	48	97	93	90	59	14	30	79
Cerrado	200	0.0021	0.0040		0.0001	0.0001	0.0033	0.0984	0.0001	0.0001	0.7735	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	45	53		48	48	56	43	48	48	12	48	48	48	48	48
Cerrado	201	0.0067	0.0036	0.0001		0.9268	0.0043	0.0002	0.0001	1.0000	0.0001	0.9972	1.0000	0.9999	0.9873	1.0000
	1	93	05	48		44	58	34	48	00	49	19	00	83	20	00
Cerrado	201	0.2848	0.1826	0.0001	0.9268		0.2098	0.0088	0.0001	0.9587	0.0003	0.2959	0.8327	0.5401	0.2088	0.9655
	5	46	06	48	44		03	67	48	83	51	87	25	98	20	71
Revegetado	199	1.0000	1.0000	0.0033	0.0043	0.2098		0.9819	0.0001	0.0060	0.3218	0.0003	0.0023	0.0007	0.0002	0.0066
	7	00	00	56	58	03		19	48	43	66	23	67	23	49	19
Revegetado	200	0.9539	0.9887	0.0984	0.0002	0.0088	0.9819		0.0001	0.0002	0.9848	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002
	2	40	39	43	34	67	19		48	71	05	50	85	56	49	84
Revegetado	200	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	8	48	48	48	48	48	48	48		48	48	48	48	48	48	48
Revegetado	201	0.0093	0.0049	0.0001	1.0000	0.9587	0.0060	0.0002	0.0001		0.0001	0.9922	1.0000	0.9998	0.9726	1.0000
	1	98	97	48	00	83	43	71	48		49	63	00	86	85	00
Revegetado	201	0.2398	0.3614	0.7735	0.0001	0.0003	0.3218	0.9848	0.0001	0.0001		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	5	26	93	12	49	51	66	05	48	49		48	48	48	48	49
Substrato	199	0.0004	0.0002	0.0001	0.9972	0.2959	0.0003	0.0001	0.0001	0.9922	0.0001		0.9997	1.0000	1.0000	0.9900
	7	35	90	48	19	87	23	50	48	63	48		70	00	00	34
Substrato	200	0.0037	0.0019	0.0001	1.0000	0.8327	0.0023	0.0001	0.0001	1.0000	0.0001	0.9997		1.0000	0.9980	1.0000
	2	00	59	48	00	25	67	85	48	00	48	70		00	32	00
Substrato	200	0.0010	0.0006	0.0001	0.9999	0.5401	0.0007	0.0001	0.0001	0.9998	0.0001	1.0000	1.0000		0.9999	0.9998
	8	87	14	48	83	98	23	56	48	86	48	00	00		98	17
Substrato	201	0.0003	0.0002	0.0001	0.9873	0.2088	0.0002	0.0001	0.0001	0.9726	0.0001	1.0000	0.9980	0.9999		0.9669
	1	11	30	48	20	20	49	49	48	85	48	00	32	98		13
Substrato	201	0.0102	0.0054	0.0001	1.0000	0.9655	0.0066	0.0002	0.0001	1.0000	0.0001	0.9900	1.0000	0.9998	0.9669	
	5	85	79	48	00	71	19	84	48	00	49	34	00	17	13	