MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

ISABELLY CRISTINE DE BRITO PEREIRA

LUANA DO SOCORRO FREITAS SOUZA

FERTILIDADE DO SOLO CONSTRUÍDO EM ÁREAS DEGRADADAS SOB RECUPERAÇÃO APÓS MINERAÇÃO DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA

BELÉM

JANEIRO DE 2019

ISABELLY CRISTINE DE BRITO PEREIRA

LUANA DO SOCORRO FREITAS SOUZA

FERTILIDADE DO SOLO CONSTRUÍDO EM ÁREAS DEGRADADAS SOB RECUPERAÇÃO APÓS MINERAÇÃO DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do Curso de Graduação em Agronomia para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Dr. Marcos André Piedade Gama

BELÉM

2019

Pereira, Isabelly Cristine de Brito

Fertilidade do solo construído em áreas degradadas sob recuperação após mineração de bauxita em Paragominas-PA / Isabelly Cristine de Brito Pereira, Luana do Socorro Freitas Souza - Belém, 2019.

38 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

Orientadora: Dr. Marcos André Piedade Gama.

1. Solo – Fertilidade - Pará 2. Solo – Degradação 3. Solo – Composição química 4. Solo - Paragominas I. Souza, Luana do Socorro Freitas II. Gama, Marcos André Piedade (orient.) III. Título.

CDD – 631.422098115

Bibliotecária-Documentalista: Letícia Lima de Sousa – CRB2/1549

ISABELLY CRISTINE DE BRITO PEREIRA

LUANA DO SOCORRO FREITAS SOUZA

FERTILIDADE DO SOLO CONSTRUÍDO EM ÁREAS DEGRADADAS SOB RECUPERAÇÃO APÓS MINERAÇÃO DE BAUXITA EM PARAGOMINAS-PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do Curso de Graduação em Agronomia para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovação em 28 de janeiro de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos André Piedade Gama

Orientador

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Gilson S. B. Matos

Prof. Dr. Gilson Sergio Bastos de Matos

Membro da banca

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Prof.ª Drª. Dênmora Gomes de Araujo

Membro da banca

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Primeiramente à Deus e aos nossos pais,

Dedicamos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por conceder a oportunidade de conquistar um futuro melhor.

À Virgem Maria, por contar sempre com sua intercessão junto ao Pai.

À Universidade Federal Rural da Amazônia, por servir a mim como um segundo lar, juntamente com o quadro de professores, pelo amadurecimento e pelos aprendizados.

Ao meu amado e eterno pai: Gladiston Luiz Ursen Souza (*in memoriam*) por todo amor dedicado a mim desde o ventre de minha mãe e por servir como um espelho para que eu continuasse seguindo em meio as adversidades da vida.

À minha família: minha mãe Maria Souza, pela educação, amor e carinho que sempre tive; ao meu padrasto Gilberto Cunha; meus irmãos Gledston Júnior e Rafael Souza; meus avós, tios e primos.

Ao meu orientador Prof. D.Sc. Marcos André Piedade Gama e meu co-orientador Prof. D.Sc. Norberto Cornejo Noronha, pelo apoio, incentivo, reconhecimento, conselhos e ensinamentos acadêmicos e de vida.

Aos alunos pertencentes ao Grupo de Estudos em Solos (GEPS), pela amizade, carinho e pelo apoio fornecidos.

A empresa Hydro Mineração Paragominas S.A, pela oportunidade e apoio à pesquisa desse trabalho.

Ao Grupo do L pela amizade e companheirismo durante o curso. Sem dúvidas, sem vocês a caminhada seria mais árdua. Grata por tudo que vivemos.

A Isabelly Cristine de Brito Pereira pela amizade, pelos conselhos e pela parceria para a construção deste trabalho.

A Giulliane Pinheiro Corrêa de Lima pela amizade, companheirismo durante todos esses anos e por sempre se fazer presente em minha vida.

As Meneguels, pelo incentivo e momentos de alegria no qual me proporcionaram.

Aos meus amigos de universidade, aos amigos dos tempos de Colégio Madre Celeste e a todos os outros, pelo incentivo e pelos momentos de alegria.

Luana do Socorro Freitas Souza

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por conceder a oportunidade de conquistar um futuro melhor e por ter me dado forças até aqui.

À Universidade Federal Rural da Amazônia, pelas oportunidades de aprendizados oferecidas, pela oportunidade de adquirir conhecimento junto aos professores que fizeram parte desta jornada.

À minha família: meus pais Antônio Pereira e Jacilene Brito, pela educação, amor e carinho e incentivo dados a mim; meus irmãos Iara e Iran; meus avós, especialmente ao meu avô Abidias (*in memoriam)* que sempre me apoiou e torceu por mim; aos meus tios e primos amados que me acompanharam nesta trajetória.

Ao meu noivo Athos, pelo companheirismo, incentivo, paciência e amor dedicado a mim.

Ao meu orientador Prof.ª. D.Sc. Marcos André Piedade Gama e meu co-orientador Prof. D.Sc. Norberto Cornejo Noronha, pelo apoio, incentivo, reconhecimento, conselhos e ensinamentos ao longo desses quase 3 anos.

Aos alunos pertencentes ao Grupo de Estudos em Solos (GEPS), pela amizade, carinho e companheirismo.

A empresa Hydro Mineração Paragominas S.A, pela oportunidade e apoio à pesquisa desse trabalho.

Ao Grupo do L pela amizade e companheirismo durante o curso. Grata por tudo que vivemos!

A Luana Souza pela amizade, pelos conselhos e pela parceria para a construção deste trabalho.

As Meneguels, pela amizade e momentos de alegria o qual me proporcionaram.

Isabelly Cristine de Brito Pereira

RESUMO

O Brasil possui destaque no cenário mundial em relação as reservas e produção mineral. O processo de extração da bauxita é realizado a céu aberto, onde é retirada a vegetação e as camadas superficiais do solo, causando impacto no ecossistema. Devido a esses danos, algumas técnicas têm sido adotadas no processo de restauração florestal, que dentre as finalidades possibilitam a recuperação das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Logo, o objetivo do estudo foi avaliar a fertilidade do solo em função de técnicas de restauração florestal de áreas degradadas após mineração de bauxita, em Paragominas, Pará. A metodologia utilizada foi o delineamento experimental inteiramente ao acaso, com seis áreas e 13 parcelas, totalizando 78 unidades amostrais. Os sistemas de recuperação avaliados foram: regeneração natural de 2009 (RN09); plantio de mudas de 2009 (PL09); regeneração natural de 2014 (RN14); plantio de mudas de 2014 (PL14); e nucleação (N14), os quais foram comparados com um fragmento de floresta ombrófila densa (FLO) durante três anos, sendo 2016, 2017 e 2018. Nos pontos de amostragens de solo, coletou-se três amostras simples, com distribuição homogênea na área da parcela as quais foram misturadas e homogeneizadas para formar uma amostra composta, às profundidades de coleta foram 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Após isto, foram preparadas e analisadas de acordo a metodologia proposta pela EMBRAPA (2009). Os resultados demonstraram que no primeiro ano de avaliação as áreas sob processo de recuperação não se diferenciaram quanto aos valores de pH, P, V e m, com menor nível de acidez que a área sob FLO. As áreas mais antigas (RN09 e P09) se destacaram quanto a MO, H+Al, SB e CTC, provavelmente pelo maior tempo em processo de recuperação. A partir do segundo ano, as áreas sob processo de recuperação apresentaram-se em melhores condições de fertilidade do solo, embora os teores de MO ainda sejam maiores na área remanescente de floresta nativa, com máxima de 38,38 g kg $^{-1}$. Os resultados indicam que a matéria orgânica é um fator importante na melhoria da fertilidade do solo e, portanto, indicador do avanço do processo de recuperação dessas áreas degradadas.

Palavras – chave: Restauração florestal. Monitoramento ambiental. Atributos químicos do solo.

ABSTRACT

Brazil stands out on the world scenario in relation to reserves and mineral production. Bauxite mining is carried out in the open air, where the vegetation and the superficial layers of the soil are removed, causing an impact on the ecosystem. Due to these damages, some techniques have been adopted in the forest restoration process, such as the natural regeneration of vegetation, planting of seedlings of several native species and nucleation, which among the purposes allow the recovery of the chemical, physical and biological properties of the soil. Therefore, the objective of the study was to evaluate the soil fertility in function of forest restoration techniques of degraded areas after bauxite mining, in Paragominas - Para. It was used a completely randomized experimental design, with six areas and 13 plots, totalizing 78 sample units. The recovery systems evaluated were natural regeneration of 2009 (NR09); planting of seedlings of 2009 (PL09); natural regeneration of 2014 (NR14); planting of seedlings of 2014 (PL14); and nucleation (N14), which were compared to a dense ombrophilous forest fragment (OFL) during three years, being 2016, 2017 and 2018. At the soil sampling points, the collection was done with the aid of a Dutch auger, in which three simple samples were collected with homogeneous distribution in the plot area, which were mixed and homogenized to form a composite sample, at the collection depths of 0-10, 10-20 and 20-40 cm. After this, they were prepared and analyzed according to the methodology proposed by EMBRAPA (2009). The results showed that in the first year of evaluation the areas under recovery process did not differ in terms of pH, P, V% and m%, with a lower level of acidity than the area of ombrophilous forest. The oldest areas (NR09 and PL09) stood out for OM, $H^+ + Al^{3+}$, SB and CEC, probably due to the longer time in the recovery process. From the second year, the areas under recovery process were in better soil fertility conditions, although organic matter levels were still higher in the remaining native forest area with a maximum of 38.38 g kg^{-1}. The results indicate that organic matter is an important factor in the improvement of soil fertility and, therefore, an indicator of the progress of the recovery process of these degraded areas.

Key - words: Forest restoration. Environmental monitoring. Soil chemical attributes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização do Platô Miltônia 3, área de extração minerária da empresa Mineração Paragominas S.A, no município de Paragominas, PA. Fonte: Projeto 4600001886 – MPSA/FUNPEA/UFRA, 2013. 18

Figura 2 – Processo de extração de bauxita na Amazônia e restauração de áreas degradadas. 19

Figura 3 – Técnica de restauração florestal utilizando o plantio de mudas em 2009 (A) e 2014 (B). 20

Figura 4 – Técnica de restauração florestal utilizando regeneração natural 2009 (A) e 2014 (B). 20

Figura 5 – Técnica de restauração florestal utilizando a nucleação em 2014. 21

Figura 6 – Dimensões das parcelas de amostragem dispostas aleatoriamente nas áreas em avaliação. 22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios de atributos químicos do solo construído em função da técnica de restauração florestal, tempo da implantação e profundidade de coletas das amostras, considerando avaliações realizadas entre 2016 e 2018, em áreas sob processo de recuperação após mineração de bauxita, Paragominas – PA. 24

Tabela 2 – Evolução dos valores de pH H2O em cada técnica de restauração florestal, após mineração de bauxita, entre 2016 e 2018, em Paragominas. 28

Tabela 3 – Evolução dos valores de matéria orgânica (MO) em cada técnica de restauração florestal, após mineração de bauxita, entre 2016 e 2018, em Paragominas. 29

Tabela 4 – Evolução dos valores de fósforo (P) em cada técnica de restauração florestal, após mineração de bauxita, entre 2016 e 2018, em Paragominas. 30

Tabela 5 – Evolução dos valores de capacidade de troca de cátions (CTC) em cada técnica de restauração florestal, após mineração de bauxita, entre 2016 e 2018, em Paragominas. 31

Tabela 6 – Evolução dos valores de saturação por bases (V%) em cada técnica de restauração florestal, após mineração de bauxita, entre 2016 e 2018, em Paragominas. 31

Tabela 7 – Evolução dos valores de saturação por alumínio (m%) em cada técnica de restauração florestal, após mineração de bauxita, entre 2016 e 2018, em Paragominas. 32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11

2. HIPÓTESES 12

3. OBJETIVO 12

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 12

4.1. Extração de Bauxita: importância, impactos e processos de extração 12

4.2. Técnicas de restauração florestal em áreas degradadas por mineração de bauxita 14

4.3. Monitoramento do processo de RAD por mineração de bauxita 15

4.4. Atributos químicos de solos construídos em áreas degradadas 16

5. MATERIAL E MÉTODOS 17

5.1. Caracterização da área de estudo e processos de mineração e reconstrução do solo 17

5.2. Tratamentos e Delineamento 21

5.3. Distribuição das Parcelas e Procedimentos de Coleta 22

5.4. Coletas de Amostras de Solo 22

5.5. Preparo das Amostras 22

5.6. Análise Química do Solo 23

5.7. Análise Estatística 24

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO 24

6.1. O efeito dos sistemas em relação ao ano e profundidade de amostragem 24

6.2. Evolução dos atributos químicos no período de avaliação 28

7. CONCLUSÃO 32

8. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO 33

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui destaque no cenário mundial em relação as reservas minerárias e produção mineral. A produção mineral brasileira, no ano de 2017, atingiu o valor de US$ 55 bilhões, representando cerca de 5% do produto interno bruto do país. A bauxita, por sua vez, apresentou grande destaque, com cerca de 32,45 milhões de toneladas extraídas no ano de 2016 (DNPN, 2017), o que representou mais de 80% da produção nacional (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM, 2015).

A bauxita é um composto mineral de óxido de alumínio, contendo material heterogêneo formado de alumínio hidratado mais impurezas. Sua ocorrência se dá principalmente em clima tropical, mediterrâneo e subtropical (CONSTATINO et al., 2002).

No município de Paragominas, a jazida de bauxita, geralmente, se apresenta em uma camada mineralizada horizontal e sob um capeamento (horizontes do solo), composto de material estéril (horizonte B) e o chamado *topsoil* (horizonte A), com espessura média de 11,4 m (variando entre 2,1m a 16,5 m). A mineração é realizada a céu aberto, após a remoção da cobertura vegetal. A mineração é iniciada com o decapeamento dos horizontes A e B do solo, a partir do qual se inicia o processo de lavra pelo método conhecido como *strip mining* (mineração em tiras ou faixas).

A partir da extração da bauxita se inicia a fase de recuperação ambiental da área lavrada, a qual pode ser dividida em duas atividades: Na primeira, ocorre o processo de reconformação do relevo alterado, com disposição e nivelamento do estéril, sobre o qual é espalhado o topsoil. Na segunda, são adotadas técnicas para restauração florestal, com o intuito de propiciar a qualidade do solo, da fauna e da flora na área após a mineração. As principais técnicas de restauração utilizadas são a regeneração natural da vegetação, plantio de mudas de diversas espécies nativas e nucleação. As duas primeiras são as mais utilizadas e segundo Martins (2009) são viáveis, embora considerando que para determinadas condições em que a área degradada se encontra, pode-se ter um método mais adequado.

Nesse sentido, o processo de reconstituição da funcionalidade dos ecossistemas alterados está associado à recuperação das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, haja vista que gerenciam diversos processos associados à restauração ecológica. A melhoria na qualidade do solo favorece um aumento da biodiversidade no ecossistema, na qual ocorre o restabelecimento da estrutura e na composição da flora, da fauna, além do funcionamento e manutenção dos processos ecossistêmicos (CHAZDON e GUARIGUATA, 2016).

Os solos construídos são feições topográficas de áreas que sofreram processo de mineração a céu aberto (KÄMPF et al., 1997; PINTO, 1997; KÄMPF et al., 2000), que devem

proporcionar condições para o desenvolvimento da vegetação (PINTO, 1997; GONÇALVES et al., 2003). Durante o processo de construção de um solo, são necessários a avaliação e monitoramento constante das condições químicas, especialmente a sua fertilidade (MIAO e MARRS, 2000), uma vez que isso indica disponibilidade e presença de elementos tóxicos (SCIVITTARO e PILLON, 2006) e benéficos às plantas, possibilitando também o acompanhamento evolução do processo de restauração da vegetação.

2. HIPÓTESES

1. Os sistemas implantados em 2009 têm melhores condições de Fertilidade de solo do que as áreas mais novas;
2. A fertilidade do solo permite avaliar satisfatoriamente o processo de recuperação das áreas degradadas após mineração de bauxita;
3. Ao longo do tempo de avaliação as técnicas de restauração florestal não promovem efeitos diferenciados na fertilidade do solo construído após mineração de bauxita, o que permite a avaliação a cada três anos.

3. OBJETIVO

Avaliar a fertilidade do solo em função de métodos de restauração florestal de áreas degradadas após mineração de bauxita, em Paragominas, Pará.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Extração de Bauxita: importância, impactos e processos de extração

A Amazônia possui uma ampla reserva de recursos naturais, com o Pará destacando-se no setor produtivo mineral, já que no ano de 2015, 84,3% das suas exportações correspondiam às Indústrias de Mineração e Transformação Mineral. No estado os principais minerais exportados são Ferro, Cobre, Níquel, Bauxita, Caulim, Manganês, Silício e Ouro (SIMINERAL – Sindicato das Indústrias Minerais do Estado do Pará). O alumínio representa o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, e é o metal mais jovem a ser usado em escala industrial, com uma produção atual que supera a soma de todos os outros metais não ferrosos. Hoje, os Estados Unidos e o Canadá são os maiores produtores mundiais de alumínio. Toda via, não possuem jazidas de bauxita em seu território, dependendo exclusivamente da importação (MOURA et al., 2008).

O Brasil possui a terceira reserva mundial do minério, cerca de 5,9 bilhões de toneladas, localizada na região amazônica, superado apenas pela a Austrália e Guiné. As reservas do

alumínio podem ser encontradas também no Sudeste Brasileiro, na região de Poços de Caldas (MG) e Cataguases (MG). A indústria extrativista representa 4,3% de todo PIB do Brasil e 16,9% do PIB Industrial brasileiro. A Produção Mineral Brasileira apurada no ano de 2016 foi de US$ 24 bilhões, empregando cerca de 185 mil trabalhadores diretamente (MOURA et al., 2008; IBRAM, 2017).

O estado do Pará possui reservas em atividade de extração nos municípios de Oriximiná, Paragominas e Juruti. O principal minério usado na produção de alumínio é a bauxita, contendo de 35% a 55% de óxido de alumínio. Devido a esta importância a mineração de bauxita proporcionou um novo ciclo produtivo, baseado na extração e exploração mineral, definindo os padrões de crescimento econômico. Na segunda metade do século passado, a economia do estado passou por forte processo de inserção do capital internacional, na qual foram instaladas na região as grandes plantas industriais de exploração mineral, os denominados grandes projetos mineradores que atualmente cresceram em várias regiões, em especial no sudeste Paraense (MOURA et al., 2008; TRINDADE, 2011).

A mina de bauxita de Paragominas está localizada no sudeste do Estado do Pará. Teve o início de suas atividades na produção comercial em março de 2007, com capacidade de 5,4 milhões de toneladas por ano, e atualmente atua com 9,9 milhões de toneladas ao ano. A bauxita extraída em de Paragominas possui teores médios de 50% de Alumina aproveitável (MOURA et al., 2008; HYDRO, 2016).

A extração da bauxita, ou processo de lavra, envolve as seguintes etapas: i) a supressão vegetal, pela qual é retirada toda a cobertura vegetal, e consequentemente animais que possam estar no local. Antes disso, é feito o levantamento de todas as espécies arbóreas ocorrentes na área e que posteriormente podem ser utilizadas no processo de recuperação; ii) decapeamento dos horizontes A e B do solo, que são chamados de *topsoil* e estéril, respectivamente. Esse decapeamento, que abrange uma espessura média de 11,4 m (variando entre 2,1m a 16,5 m) a cima da camada de bauxita, e o processo de lavra do minério é realizado pelo método conhecido como *strip mining* (mineração em tiras ou faixas). Essas faixas podem apresentar larguras entre 25 a 30 m e comprimento maiores que 400m; iii) transporte do minério extraído até a área de beneficiamento inicial.

No local explorado ocorre o processo de reconformação do relevo alterado, com disposição e nivelamento do estéril, sobre o qual é espalhado o topsoil, que geralmente fica armazenado a céu aberto durante o processo lavra. A partir disso, inicia-se o processo de restauração florestal das áreas degradadas para que o ambiente retome da melhor maneira possível o seu estado natural.

Diante dos impactos decorrentes da atividade mineradora, resultando em ecossistema alterado, é fundamental a mitigação dos impactos sobre a biodiversidade e o acompanhamento desses impactos pelos orgãos competentes do setor. Além disso, a mineração e atividades relacionadas frequentemente ocorrem em terras indígenas, ou próximas, e/ou comunidades requerendo frequentemente acesso a grandes extensões de terra e água o que intensifica mais a sua responsabilidade com os recursos naturais alterados (WORD ALUMINIUM, 2018).

4.2. Técnicas de restauração florestal em áreas degradadas por mineração de bauxita

A redução da vegetação, da fauna e da camada fértil do solo, são consequências notórias em um ambiente após a extração de recursos minerais (MENDES FILHO, 2004).

Diante desses fatores, é de suma importância que áreas mineradas passem por um processo de recuperação de áreas degradadas (RAD). O reflorestamento foi adotado como uma alternativa para acelerar a restauração da vegetação em áreas degradadas. Pois, em decorrência do estabelecimento da flora, o desenvolvimento do ecossistema se dá de modo mais intenso (BRANCALION et al., 2015).

A regeneração natural da floresta é um manejo adotado mundialmente para uma recomposição florística, quando ocorre de modo correto pode potencialmente desempenhar um papel importante na restauração de paisagens em larga escala, principalmente em regiões tropicais (CHAZDON, 2016). O uso do topsoil (terra-preta, solo orgânico) na reconformação superficial do solo minerado, é de suma importância nesta técnica de restauração, pois possui rico banco de sementes e elevado teor de matéria orgânica (SALOMÃO et al., 2014). Além disto, estudos constataram a regeneração natural eficiente na recuperação de importantes atributos relacionados à qualidade físico-química do solo, incrementando a matéria orgânica, o que favorece a disponibilidade de nutrientes, diminui a densidade do solo e aumenta a capacidade de infiltração de água no solo (NETO, 2017). Já estudos de Martins et al., (2018) constataram que a regeneração natural em uma área após mineração de bauxita foi eficiente na deposição de serapilheira, e que esta e os nutrientes são vistos como bons indicadores de monitoramento na restauração de áreas degradadas, demonstrando a situação bioquímica dos ecossistemas em desenvolvimento.

Como parte de métodos de indução na recuperação vegetal, há o plantio de mudas de espécies nativas arbóreas. No qual, o reflorestamento é feito com plantio em alta densidade, na área de plantio é realizado o manejo do solo com adubação e escarificação a fim de diminuir as limitações químicas e físicas respectivamente, além de diversas práticas de condução e manutenção das mudas plantadas. O manejo na adubação inicial na área de plantio de muda é

o principal fator que contribui para a presença de macronutrientes como N, P, K, Ca e Mg. E isto demonstra a importância da aplicação de fertilizantes pré-plantio, pois favorece o estabelecimento da vegetação plantada. O plantio de mudas tem sido um dos métodos mais utilizados no processo de restauração de áreas degradadas pela mineração (SALOMÃO, 2015; SALOMÃO et al., 2014; MARTINS et al., 2018).

A formação de núcleos ou nucleação é uma técnica de restauração caracterizada por diversas ações que são executadas, nunca em área total, mas sempre em núcleos nos quais buscam diversos elementos (solo, micro e macrobiota), que ocupam cerca de 10-30% da área. A nucleação pode acelera a sucessão natural no ecossistema alterado permitindo a participação dos mecanismos de restabelecimento usados pela própria natureza, como a interação solo com as plantas, macrofauna e o solo, animais dispersores de sementes e as plantas (REIS et al., 2014). Em estudo realizado por Filho et al., 2013, obtiveram resultados satisfatórios com o uso da nucleação na qual a técnica mostrou-se eficiente no estabelecimento de uma vegetação secundaria, além de ser uma técnica de recuperação econômica.

Para o estabelecimento de uma vegetação auto-sustentável em terras que que sofreram algum tipo de pertubarção, é essencial escolher plantas tolerantes à seca e à falta de nutrientes (WONG, 2003). Além disto, a formação da cobertura vegetal é de suma importância para o equilíbrio no ecossistema em áreas com solos construídos após mineração de bauxita. Pois, a presença da serapilheira advinda da cobertura vegetal, pode ser a principal fonte de matéria orgânica e nutriente para as sementes viáveis do banco e para os organismos presente no solo, além de aumentar a retenção da água de chuva e cedê-la lentamente ao solo, isto diminui o processo de erosão que representa grande perda do solo, além do mais protege o banco de sementes, favorecendo a germinação e o estabelecimento da vegetação (RODRIGUES, 2010). Logo, a formação de uma floresta inicialmente com uma boa estruturação e uma composição florística, favorece uma eficiente disponibilização de nutrientes com a deposição de serrapilheira, a qual apresenta concentrações de nutrientes como N, P, K, Mg e Ca. Com isto, nutrientes acumulados nos tecidos vegetais são de suma importância no processo de ciclagem de nutrientes, o qual a biomassa de cobertura realiza ao depositar material orgânico na superfície do solo elementos essenciais tais como, K, N, Ca, Mg e P (WOLSCHICK,2015; MARTINS et al., 2018).

4.3. Monitoramento do processo de RAD por mineração de bauxita

Segundo a Constituição da República Federativa do Brasil de 1998, é exigido por lei que ambientes degradados pela exploração de recursos minerais devam ser recuperados. Órgãos

governamentais, empresas e universidades desempenham o papel fundamental no desenvolvimento e implantação de técnicas que consigam recuperar áreas degradadas (IBAMA, 1990), mas principalmente no monitoramento ou avaliação das áreas que estão sob processo de restauração após mineração.

A recuperação de uma área degradada requer atenção a vários fatores, para um resultado satisfatório e eficiente. Dentre esses o solo é destaque, pois a recuperação tem que considerar o seu uso futuro, portanto, importante as medidas que possibilitam o adequado restabelecimento dos seus atributos químicos, físicos e biológicos (IBAMA, 1990).

Outro aspecto importante no monitoramento é a avaliação do desenvolvimento da vegetação, pois Souza & Batista (2004), argumentam que a avaliação e o acompanhamento de florestas implantadas são fundamentais para o melhoramento das técnicas de restauração, especialmente em ecossistemas tropicais e subtropicais onde há grande diversidade e complexidade das interações entre organismos, devido a ampla variedade de espécies florestais.

Rodrigues & Gandolfi (1998) e Souza & Batista (2004), afirmam que, para áreas restauradas, muito pouco tem sido feito no que se refere à avaliação e monitoramento das áreas implantadas, sugerindo dois tipos de monitoramento: de avaliação de implantação e monitoramento de avaliação da fase pós-implantação, na qual a presença de profissionais capacitados, técnicas de recuperação que consideram todo o ecossistema alterado e os recursos disponíveis, são essências para o sucesso da restauração.

4.4. Atributos químicos de solos construídos em áreas degradadas

Os solos degradados devem ser avaliados do ponto de vista químico, físico e biológico, pois, são atributos que indicam o nível de degradação, permitindo o planejamento e a elaboração das alternativas de manejo (BARBOSA, 2006).

Diante disto, solos advindos de atividade mineradora são hábitats artificiais que apresentam uma ampla gama de problemas no estabelecimento e na manutenção da vegetação, porque dependendo do tipo da exploração mineraria, as propriedades físico-químicas podem contaminar o solo, o que tende a inibir os processos de formação do solo e crescimento da vegetação. Além de concentrações elevadas de alguns elementos, outros fatores abióticos podem ser limitantes nesta reconrformação do solo degradado, como a ausência de solo superficial, o qual representa a camada mais fértil no perfil do mesmo; estação prolongada de seca; compactação; grandes flutuações de temperatura; ausência de materiais finos formadores de solo; e escassez de nutrientes (WONG et al., 1999). A presença de material orgânico e seus nutrientes, não são facilmente encontrados em terras mais degradadas, o que consequentemente

diminui a presença de nutrientes, já que esta é a principal fonte de nitrogênio (N) presente no solo (WONG, 2003).

As avaliações que possibilitam uma percepção sobre a qualidade química do solo são à acidez (pH), matéria orgânica, riqueza de nutrientes (macro e micro), a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), grau de acidez (pH), entre outros atributos, permitem avaliar o estado da fertilidade do solo em função do manejo adotado e do tempo de implantação.

A maioria dos nutrientes se localiza na parte superficial do solo em áreas onde esta parte foi removida são as mais degradadas, uma vez que estes também são removidos (BARBOSA, 2006).

A matéria orgânica (MO) desempenha funções básica e biologicamente importantes no solo, sendo sensível às práticas de manejo, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais onde as altas temperaturas e alto índice pluviométricos aceleram a sua decomposição. É um componente que funciona como fonte de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e enxofre e micronutrientes, além de diminuir a toxidez de poluentes. Logo, em solos construídos após mineração que possuem baixo teor de matéria orgânica, a única fonte encontrada é o *topsoil*, que é um substrato armazenado no decapeamento do solo, por isso a manutenção deste é indispensável no processo de recuperação florestal (BARBOSA, 2006).

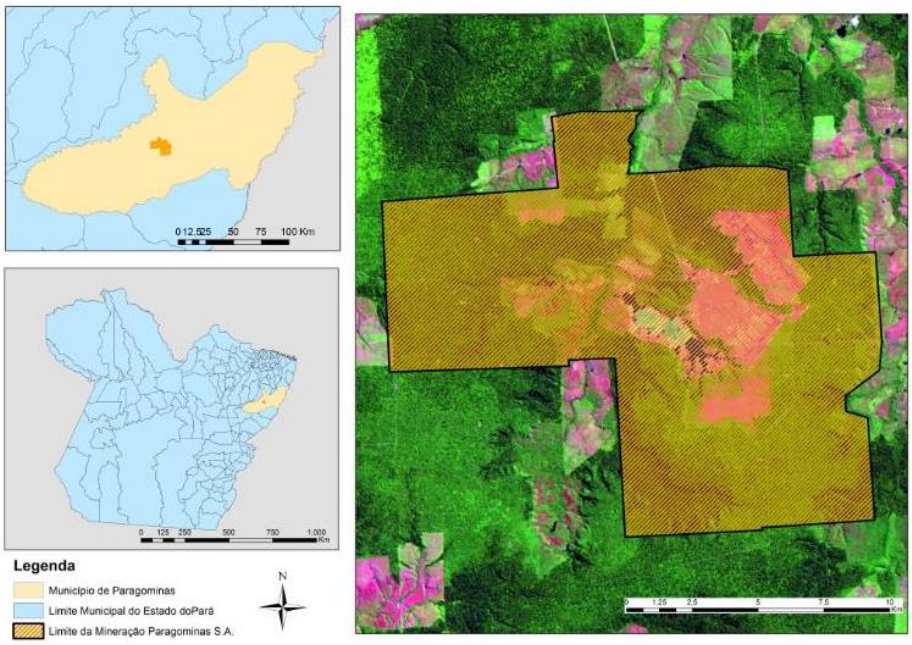
5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização da área de estudo e processos de mineração e reconstrução do solo

O estudo foi desenvolvido em área de mineração de bauxita pertencente à empresa Mineração Paragominas S.A., no Platô Miltônia 3 (3°15'38"S e 47°43’28”W), à 70 km do município de Paragominas (Figura 1), com altitude de 150 m, caracterizados por uma superfície tabular, aplainada e bastante recortada (HYDRO, 2016). O clima da região é do tipo “Aw”, conforme a classificação de Köppen-Geiger, caracterizado como quente e úmido com estações de chuva e de seca bem definidos. A temperatura média anual é de 25°C (MARTINS et al., 2013) e com umidade relativa do ar em torno de 80% na média anual (RODRIGUES et al., 2003). A tipologia florestal da região caracteriza-se em três subtipos: floresta densa de terra baixa, floresta densa submontana e floresta densa aluvial (PINTO et al., 2009). Os solos predominantes da região são do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, com textura média a muito argilosa apresentando alto grau de intemperismo (EMBRAPA, 1999), profundos, ácidos e ricos

em alumínio (RODRIGUES et al., 2003). Na área do platô onde é extraída a bauxita a textura é predominantemente argilosa.

Figura 1 – Localização do Platô Miltônia 3, área de extração minerária da empresa Mineração Paragominas S.A, no município de Paragominas, PA. Fonte: Projeto 4600001886 – MPSA/FUNPEA/UFRA, 2013.



Fonte: Mineração Paragominas S.A.

As atividades de mineração de bauxita das áreas no platô iniciaram-se no ano de 2007. A jazida de bauxita nas áreas da Mineração Paragominas S.A., geralmente, se apresenta em uma camada mineralizada horizontal e sob um capeamento, composto de material estéril (horizonte B) e *topoil* (horizonte A), com espessura média de 11,4 m (variando entre 2,1m a 16,5 m). A mineração é realizada a céu aberto, em um processo conhecido como *strip mining method* (mineração em tiras ou faixas), após a remoção da cobertura vegetal. Esse método consiste em lavrar o depósito em faixas paralelas, com aproximadamente 30 metros de largura e comprimentos variáveis (400 m a 1000 m), com o estéril sendo disposto na área da tira anteriormente lavrada.

A exploração (Figura 2) consistiu das seguintes etapas: a supressão florestal, com retirada de toda a biomassa vegetal; o decapeamento do solo, que consistiu da retirada da camada superficial, denominada de “topsoil” e subsuperficial do solo, conhecida como “estéril”; a extração do minério em faixas (escavação até a camada contendo bauxita). Após a extração, inicia-se a recuperação da área degradada, que é constituída por dois processos: a)

reconformação da paisagem, que consiste na reposição do estéril, nivelamento, deposição e espalhamento do “topsoil”; b) a aplicação de métodos de recuperação.

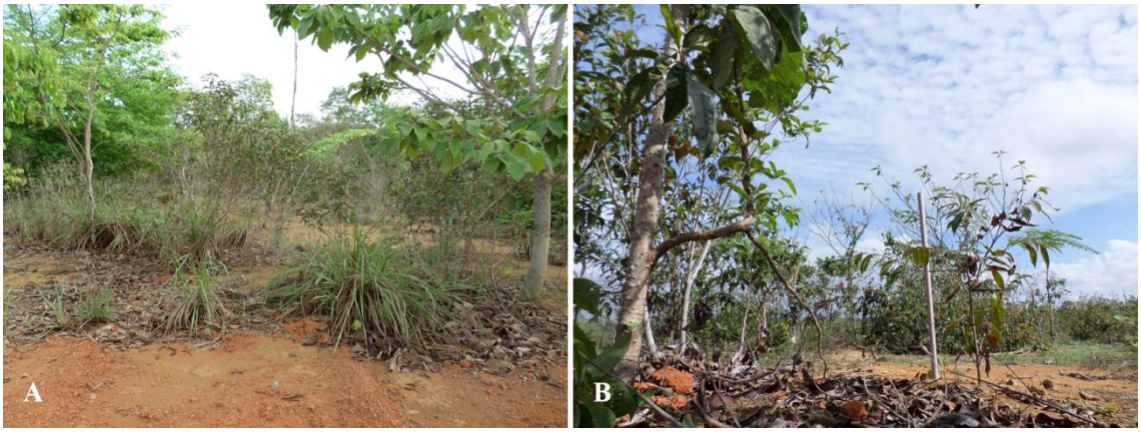
Figura 2 – Processo de extração de bauxita na Amazônia e restauração de áreas degradadas.

Fonte: Adaptado de Hydro (2018).

Antes da implantação das técnicas/sistemas de restauração florestal nas áreas degradadas foi realizada a reconformação morfológica do terreno, com auxílio de Tratores de Esteiras D8 para espalhamento e nivelamento superficial do estéril, se aproximando do relevo original. A partir disso ocorreu a deposição e espalhamento do topsoil sobre estéril nivelado. Essa atividade foi realizada 2009, para técnicas/sistemas de recuperação mais antigas (RN09 e PL09) e, em 2014, caso das áreas mais novas (RN14, PL14 e N14).

Para a implantação da técnica de plantio de mudas (Figura 3), como método de restauração florestal, foi realizada subsolagem até 60 cm de profundidade no preparo da linha do plantio, com aplicação conjunta de Fosfato Natural Reativo (33% P_2O_5 Total, 10% solúvel em ácido cítrico) em profundidade entre 20 e 30 cm. O plantio foi realizado com espaçamento 3m x 3m, com 1.111 mudas/ha em covas de 0,30 m x 0,30 m x 0,30 m, seguindo modelos de plantios florestais. As covas foram adubadas com 200g da formulação NPK 6-30-6 + 0,5 % B, 0,5 % Cu, 0,5 % Zn. Além disso, utilizou-se 2,5 kg de composto orgânico (formado por caroço de açaí carbonizado, palha de arroz carbonizado, cama de frango e esterco de ovino curtidos e triturados, na proporção de 20 % de cada componente). No plantio foram utilizadas aproximadamente 104 espécies em diferentes grupos ecológicos, dispostas ao acaso nas covas. A manutenção inicial do plantio constituiu no controle inicial de formigas cortadeiras com aplicação de formicida na dosagem de 10 g m^{-2} em uma distância de até 100 m das bordas do reflorestamento do formigueiro e capinas manuais para eliminação de gramíneas em área total durante o primeiro ano.

Figura 3 – Técnica de restauração florestal utilizando o plantio de mudas em 2009 (A) e 2014 (B).



Fonte: Projeto Biodiversidade e Solos.

Os sistemas RN09 e RN14 (Figura 4) foram implementados no período de junho de 2009 e junho de 2014, respectivamente. Nas áreas submetidas ao sistema de regeneração natural os procedimentos adotados para instalação do sistema foram: reconformação do terreno com espalhamento do estéril; recobrimento do estéril com o *topsoil* para favorecer a regeneração através dos propágulos presentes no solo armazenado e isolamento da área para que não houvesse intervenção antrópica. Em dezembro de 2014 foi realizado um enriquecimento na área RN09, onde foram plantadas 3.600 mudas em 18,15 ha.

Figura 4 – Técnica de restauração florestal utilizando regeneração natural 2009 (A) e 2014 (B).

Fonte: Projeto Biodiversidade e Solos.

A técnica de nucleação (N14) foi implantada em dezembro de 2014, realizando-se primeiramente o espalhamento e nivelamento superficial do estéril nas áreas após a mineração, semelhante ao que foi feito para áreas de RN e plantio. A partir disso, foi realizada a distribuição irregular do *topsoil, na forma de pilhas,* para criar pequenas rugosidades no terreno; entre as pilhas de topsoil foram formadas pilhas de galharia (galhos, folhas e material reprodutivo) da

vegetação (Figura 5), oriunda da supressão florestal realizada antes do processo da lavra, de modo que se formasse um ambiente atrativo para a fauna local. Nesse método espera-se que a vegetação se desenvolva naturalmente a partir das pilhas de topsoil e galhadas. Especificamente nessa área de nucleação, considerada neste trabalho, foi realizado o plantio de mudas em 15,76 hectares, caracterizando-se como um tipo de enriquecimento da vegetação. Para isso ocorreu aplicação manual de fertilizante NPK 06-30-06 na base de 300g/cova, no plantio, e mais 160g/planta em cobertura. Após um tempo realizou-se o replantio de aproximadamente 430 mudas em 0,86 ha na área de nucleação.

Figura 5 – Técnica de restauração florestal utilizando a nucleação em 2014.

Fonte: Projeto Biodiversidade e Solos.

5.2. Tratamentos e Delineamento

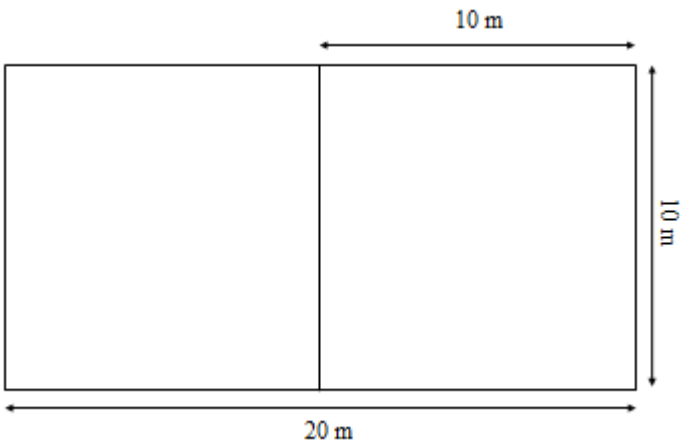
As áreas sob processo de restauração, após mineração de bauxita, que foram estudadas são de regeneração natural de plantas, plantio de mudas de espécies nativas e nucleação, comparando os sistemas e tempo de implantação (2009 e 2014), sendo então: regeneração natural (RN09); plantio de mudas (PL09); regeneração natural (RN14); plantio de mudas (PL14); nucleação (N14). Além disso, foi avaliada uma área sob floresta ombrófila densa (FLO) com registro de exploração madeireira convencional realizada no ano de 2003, cujo solo serve como referência no seu estado natural, o que totaliza seis áreas de estudo.

Os sistemas RN09 e PL09 abrangem uma área de 21,04 ha e 71,44 ha, respectivamente. E nos sistemas RN14, P14 e N14 são de 238,6 ha, 240,36 ha e 44,78 ha respectivamente.

5.3. Distribuição das Parcelas e Procedimentos de Coleta

O estudo consistiu na avaliação desses sistemas durante três anos, 2016, 2017 e 2018. Em cada área de estudo foram instaladas 13 parcelas de dimensões 10 x 20 m (200 m²). Para os efeitos deste estudo, foi considerado o delineamento experimental inteiramente ao acaso, com seis áreas e 13 parcelas, totalizando 78 unidades de amostrais. Dentro de cada parcela, foram realizadas coletas de amostras de solo.

Figura 6 – Dimensões das parcelas de amostragem dispostas aleatoriamente nas áreas em avaliação.



Fonte: As autoras.

5.4. Coletas de Amostras de Solo

Nos pontos de coleta, foram realizadas amostragens de solo, com auxílio de um trado holandês. Estas amostragens consistiram da coleta de 3 amostras simples distribuídas de forma homogênea na área da parcela as quais foram misturadas e homogeneizadas para a formação de uma amostra composta. As homogeneizações das amostras foram realizadas em baldes plásticos previamente higienizados. Foram coletadas amostras compostas às profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm.

5.5. Preparo das Amostras

As amostras foram levadas a Área de Ciência do Solo da Universidade Federal Rural da Amazônia. Posteriormente, foram postas para secagem ao ar até peso constante. As mesmas foram, então, passadas em peneiras de malha 2 mm, para obtenção de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

5.6. Análise Química do Solo

Para caracterização dos atributos químicos foram analisados: Fósforo (P), com extração por Mehlich 1 e determinação por colorimetria, utilizando espectrofotômetro visível; pH em H_2O e pH em KCl; cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), alumínio (Al^{+3}) trocáveis com extração por KCl 1 mol L^{-1} e determinação por titulometria; potássio trocável (K^+) com extração por Mehlich 1 e determinação por fotômetro de chama; acidez potencial (H+Al) com extração por acetato de cálcio ($(CH_3.COO)_2Ca.H_2O$)) 0,5 mol L^{-1}; e matéria orgânica do solo (MO) com extração por dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) 0,167 1 mol L^{-1} e determinação por titulação com sulfato ferroso amoniacal (Fe_2 $(NH_4)_2$ $SO_4.6H_2O$) 0,05 mol L^{-1}. Todas as análises foram realizadas seguindo metodologia descrita por Embrapa (2017).

Além disso, foram determinados os valores de soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m), considerando: SB = Ca+Mg+K; CTC = SB + (H+Al); V = (SB/CTC) x 100 e m = (Al/SB+Al) x 100.

As amostras de solo das áreas sob processo de recuperação foram submetidas a análise granulométrica, conforme o quadro 1.

Quadro 1 – Análise granulométrica dos solos construídos sob técnicas de restauração florestal entre os anos 2016 e 2018 em Paragominas – Pará.

	AREIA	**SILTE** g kg^{-1}	**ARGILA**
----------0-10 cm----------			
FLO	56,50	174,00	769,50
RN09	45,50	91,75	862,75
P09	70,75	83,25	846,00
RN14	49,50	62,75	887,75
P14	51,50	111,50	837,00
N14	47,33	114,00	838,67
----------10-20 cm----------			
FLO	33,00	106,00	861,50
RN09	56,50	80,50	863,00
P09	38,50	73,50	888,00
RN14	39,50	78,00	882,00
P14	52,50	126,00	821,00
N14	59,00	42,00	899,50
----------20-40 cm----------			
FLO	17,00	50,00	933,00
RN09	120,50	72,50	807,00
P09	42,50	88,00	869,50
RN14	48,00	91,50	860,00
P14	65,00	118,50	815,50
N14	45,50	61,50	892,50

5.7. Análise Estatística

Os dados coletados foram organizados em planilha eletrônica e posteriormente analisados no programa gratuito INFOSTAT para teste de comparação de médias (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. O efeito dos sistemas em relação ao ano e profundidade de amostragem

Os valores médios dos atributos químicos que caracterizam a fertilidade do solo em função da técnica de restauração, profundidade de coleta e tempo de implantação estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios de atributos químicos do solo construído em função da técnica de restauração florestal, tempo da implantação e profundidade de coletas das amostras, considerando avaliações realizadas entre 2016 e 2018, em áreas sob processo de recuperação após mineração de bauxita, Paragominas – PA.

Ano de Avaliação	Sistema	pH		MO	P	H+Al	SB	CTC	V	m
		H_2O	KCl	(g kg^{-1})	(mg dm^{-3})	(cmol$_c$ dm^{-3})			%	
	---------- 0-10 cm ----------									
	FLO	4,38 b	3,94 c	33,32 a	2,02 a	13,25 a	0,68 c	13,93 a	4,83 b	75,69 a
	N14	4,87 a	4,67 a	6,70 d	1,08 b	3,86 d	0,68 c	4,54 d	15,38 a	24,58 b
	P09	4,93 a	4,26 bc	18,01 c	2,04 a	6,64 bc	1,02 bc	7,66 bc	13,72 a	27,05 b
	P14	5,01 a	4,64 ab	15,29 c	1,45 ab	5,31 cd	1,20 b	6,51 c	19,01 a	18,93 b
	RN09	5,09 a	4,60 ab	25,36 b	2,02 a	7,84 b	1,74 a	9,57 b	19,42 a	15,42 b
	RN14	5,03 a	4,59 ab	17,11 c	1,58 ab	5,63 cd	0,96 bc	6,58 c	14,86 a	30,20 b
	----------10-20 cm ----------									
	FLO	4,21 c	4,00 d	22,77 a	1,17 ab	11,05 a	0,29 c	11,35 a	2,60 c	88,21 a
	N14	4,85 ab	4,81 a	4,22 d	0,33 d	2,90 d	0,39 bc	3,29 d	12,29 ab	33,12 c
1	P09	4,62 b	4,26 cd	15,11 b	1,14 ab	5,96 bc	0,49 bc	6,45 bc	7,68 bc	55,83 b
	P14	4,77 ab	4,70 ab	9,43 c	0,58 cd	5,24 bc	0,67 b	5,91 c	11,80 ab	26,84 c
	RN09	4,97 a	4,54abc	18,09 b	1,26 a	6,93 b	1,13 a	8,06 b	15,02 a	24,99 c
	RN14	4,54 b	4,40 bc	10,59 c	0,87 bc	4,40 cd	0,43 bc	5,91 c	9,09 b	63,29 b
	---------- 20-40 cm ----------									
	FLO	4,35 c	4,09 c	14,52 a	0,77 abc	6,38 a	0,30 b	6,68 a	4,55 c	83,36 a
	N14	4,73 b	4,78 ab	2,46 c	0,42 c	2,26 c	0,20 b	2,46 c	8,36 bc	31,46 bc
	P09	4,74 b	4,45 bc	6,82 b	0,86 ab	3,42 bc	0,33 b	3,75 bc	9,23 bc	40,45 b
	P14	4,74 b	4,86 a	4,19 bc	0,59 bc	2,61 c	0,23 b	2,84 c	8,38 bc	18,45 c
	RN09	5,08 a	4,77 ab	13,09 a	1,11 a	4,16 b	0,83 a	4,99 b	18,44 a	20,97 bc
	RN14	4,53 bc	4,77 ab	4,17 bc	0,58bc	2,76 c	0,32 b	3,09 c	11,25 b	31,40 bc
2	---------- 0-10 cm ----------									

	FLO	4,72 a	4,26 bc	35,54 a	0,92 a	4,06 ab	4,75 a	8,22 a	56,35 a	7,03 a
	N14	4,96 a	4,61 ab	15,69 b	0,30 bc	2,68 b	1,73 b	4,41 c	37,95 bc	2,29 a
	P09	4,64 a	4,10 c	21,23 b	0,34 abc	3,28 ab	1,77 b	5,04 c	35,53 c	7,52 a
	P14	4,88 a	4,16 c	24,31 b	0,82 ab	4,32 a	1,89 b	6,20 bc	28,76 c	3,37 a
	RN09	4,97 a	4,93 a	18,46 b	0,12 c	3,29 ab	3,78 a	7,07 ab	52,75 ab	2,41 a
	RN14	4,83 a	4,37 bc	21,08 b	0,74 ab	3,98 ab	1,90 b	5,88 bc	32,68 c	4,25 a
	---------- 10-20 cm ----------									
	FLO	4,63 a	4,24 b	21,46 a	0,22 c	5,34 a	1,43 ab	6,77 a	22,67 ab	6,59 ab
	N14	4,82 a	4,77 a	10,46 c	0,18 c	2,29 b	0,81 b	3,11 d	25,67 ab	3,18 b
	P09	4,64 a	4,15 b	13,92 bc	0,83 a	4,04 ab	0,61 b	4,65 cd	13,41 b	9,20 a
	P14	4,73 a	4,23 b	18,92 ab	0,57 ab	5,12 a	1,42 ab	6,55 ab	19,71 ab	4,55 b
	RN09	4,88 a	4,35 b	22,46 a	0,13 c	3,79 ab	1,11 ab	4,90 bcd	21,17 ab	5,85 ab
	RN14	4,89 a	4,42 b	19,77 ab	0,44 bc	3,95 ab	2,21 a	6,17 abc	35,38 a	2,52 b
	---------- 20-40 cm ----------									
	FLO	4,53 c	4,20 c	18,00 a	0,16 ab	5,13 a	0,73 ab	5,86 a	13,93 b	7,82 a
	N14	4,77 abc	4,89 a	10,31 b	0,12 ab	2,21 c	0,65 ab	2,85 c	22,77 ab	2,33 b
	P09	4,64 bc	4,43 bc	9,46 b	0,54 a	3,20 bc	0,41 b	3,61 c	11,64 b	5,93 ab
	P14	4,67 bc	4,44 bc	15,23 ab	0,37 ab	3,79 b	1,48 a	5,27 ab	25,14 ab	4,23 ab
	RN09	4,98 a	4,64 ab	12,31 ab	0,07 b	2,76 bc	1,32 ab	4,08 bc	30,05 a	2,26 b
	RN14	4,82 a	4,62 ab	9,31 b	0,29 ab	2,85 bc	1,32 ab	3,77 bc	20,43 ab	2,45 b
	---------- 0-10 cm ----------									
	FLO	4,99 a	4,41 a	38,38 a	1,30 a	4,63 a	4,11 a	8,14 a	46,08 ab	2,29 a
	N14	4,65 ab	4,35 a	11,7 d	0,00 b	2,05 b	1,64 c	3,68 c	45,37 b	2,88 a
	P09	4,63 b	4,14 ab	20,92 bc	0,00 b	3,16 b	1,89 c	5,06 bc	37,86 b	4,91 a
	P14	4,66 ab	4,23 ab	21,69 bc	0,00 b	2,65 b	2,86 abc	5,51 b	50,12 ab	3,63 a
	RN09	4,87 ab	3,96 b	26,62 b	0,18 b	2,00 b	3,45 ab	5,45 b	62,21 a	1,93 a
	RN14	4,75 ab	4,08 ab	18,23 cd	0,00 b	2,83 b	2,31 bc	5,14 bc	43,93 b	4,41 a
	---------- 10-20 cm ----------									
	FLO	4,65 ab	4,24 a	23,77 a	0,52 a	4,02 a	2,63 ab	6,65 a	37,21 bc	20,66 a
	N14	4,67 a	4,42 a	11,23 c	0,00 b	1,86 c	1,86 ab	3,73 c	45,94 ab	5,97 a
3	P09	4,50 a	4,12 ab	14,38 bc	0,00 b	3,06 ab	1,19 b	4,26 bc	27,93 c	21,57 a
	P14	4,54 a	4,17 ab	20,15 ab	0,00, b	2,92 abc	2,69 ab	5,61 ab	47,45 ab	10,73 a
	RN09	4,70 a	3,87 b	22,77 a	0,11 b	1,88 c	3,07 a	4,94 abc	61,53 a	7,64 a
	RN14	4,75 a	4,14 ab	14,15 c	0,09 b	2,61 bc	1,81 ab	4,42 bc	39,28 bc	12,03 a
	---------- 20-40 cm ----------									
	FLO	4,46 c	4,13 b	12,62 a	0,35 a	3,60 a	0,73 b	4,33 a	17,96 c	42,38 a
	N14	4,65 abc	4,61 a	7,62 c	0,00 b	1,81 bc	1,11 b	2,92 b	36,95 b	4,00 c
	P09	4,62 abc	4,32 ab	10,23 abc	0,00 b	2,62 b	0,71 b	3,33 ab	21,61 c	21,54 b
	P14	4,57 bc	4,34 ab	11,62 ab	0,00 b	2,32 bc	1,31 b	3,62 ab	35,41 b	11,88 bc
	RN09	4,82 a	4,08 b	13,46 a	0,12 b	1,61 c	2,03 a	3,64 ab	55,16 a	8,05 bc
	RN14	4,76 ab	4,38 ab	8,54 bc	0,00 b	2,08 bc	0,93 b	3,01 b	29,75 bc	11,94 bc

*FLO: fragmento florestal; N14: nucleação ano 2014; P09: plantio de mudas ano 2009; P14 plantio de mudas ano 2014; RN09: regeneração natural ano 2009; RN14: regeneração natural ano 2014.

No primeiro ano de avaliação (Ano 1), na profundidade de 0-10 cm, verificou-se que para pH, P, V e saturação por alumínio (m) do solo não ocorreram diferenças significativas em função da técnica e tempo de implantação (Tabela 1). Ou seja, na camada mais superficial as áreas mais novas (RN14, P14 e N14) não diferiam das mais antigas (RN09, P09), mas todas diferiram da área com remanescente de floresta (FLO), na qual o solo é mais ácido, com maior saturação de alumínio e menor V, embora tenha maior CTC, o que já era esperado, pois os solos da região amazônica são naturalmente ácidos devido ao processo de degradação da matéria orgânica e rápida mineralização, o que causa acidificação natural do solo nestes ambientes (SILVA JÚNIOR et al., 2012; RIBEIRO et al., 1999).

O valor médio da matéria orgânica (MO) do solo na área de FLO foi significativamente superior às técnicas de restauração. E entre essas, a RN09 foi a que proporcionou valor médio (32,87 g kg^{-1}) superior as demais, demonstrando, nesse caso, que o tempo de implantação favoreceu o acúmulo da MO nesta área. Por outro lado, no solo sob nucleação (N14), foi observado o valor médio de MO (6,31 g kg^{-1}) inferior em relação aos demais sistemas. Isso pode ser explicado pelo fato de que nessa área as coletas foram feitas praticamente sobre a camada estéril, já que o topsoil está amontoado em pilhas. O comportamento da CTC acompanhou o que foi observado para MO, com os maiores valores na área da floresta. Além disso, há uma relação direta entre a MO e a CTC, principalmente em solos da região tropical, onde os oxi-hidróxidos de Fe e Al predominam (BRADY; WEIL, 2013).

Em relação ao fósforo (P) do solo, não houve diferença estatística nos sistemas P09, RN09, P14, RN14 e FLO. No entanto, os teores de P na área sob nucleação (N14) foram significativamente menores que os da floresta remanescente e das áreas mais antigas (RN09 e P09). Provavelmente deve-se ao fato de que o P é um elemento importante principalmente na fase inicial de desenvolvimento da vegetação (MALAVOLTA, 2006), e com o tempo a ciclagem passa a ser o processo regulador da disponibilidade de P no ecossistema. E a disponibilidade também é influenciada pela MO do solo (REDEL et al., 2008), que é bem menor na área de nucleação.

Na camada 10-20 cm, notou-se que para o pH, V e m% não houve diferença significativa entre os sistemas N14, P14 e RN09, os quais diferiram-se da FLO, que apresentou solo com características mais ácidas nessa profundidade. Essa camada já representa uma faixa de transição entre a do topsoil e a de estéril, o que proporciona algumas diferenças. Para MO e a CTC observou-se que os solos das áreas mais antigas (P09 e RN09) apresentaram-se com valores significativamente maiores que as das mais novas (P14, RN14 e N14), mas ainda menores que o observado na área de FLO. Em relação ao P disponível observou-se que as áreas

mais novas possuem significativamente menor teor que as mais velhas sob processo de recuperação (P09, RN09), e essas não diferiram da FLO. Isso pode ser atribuído ao aumento no conteúdo de MO, que pode contribuir com a diminuição da capacidade de adsorção de P, o que possibilita aumento na sua disponibilidade (SANTOS, 2018).

A camada 20-40 cm já representa a faixa com estéril, ou seja, com mais uniformidade quanto às características. Isso pode ser evidenciado pelos valores de pH, SB, V e m% nessa camada mais profunda, os quais não diferiram entre a maioria dos sistemas. A exceção são os valores altos na área de RN09 e baixos na área de FLO. Quanto aos teores de MO entre as áreas sob processo de recuperação verificou-se que apenas a RN09 não diferiu da FLO. Em relação aos teores de P o comportamento também seguiu os apresentados para MO, com as áreas sob RN09 iguais a FLO.

No segundo e terceiro ano de avaliação (Ano 2 e 3) das áreas sob processo de recuperação por diferentes técnicas observou-se a evolução dos atributos químicos (Tabela 1). O pH e a saturação por alumínio (m), nas diferentes camadas estudadas, não diferiram entre as técnicas de RAD, as quais se igualaram a área de floresta remanescente.

Os dados demonstram que os valores de pH em KCl são menores do que os valores de pHH_2O, demonstrando maior eletronegatividade deste solo, em função, especialmente, da deposição de resíduos que contribuíram com o aumento dos teores de M.O.S. (ANTONIADIS et al., 2016).

Para MO, na camada superficial e nas duas últimas avaliações (ANO 2 e 3), os teores nas áreas sob recuperação continuam significativamente inferiores a floresta remanescente. Nas demais camadas essas diferenças têm diminuído, principalmente quando se compara a FLO às áreas de RN09, RN14, P09 e P14.

No caso dos valores de P, SB, CTC e V observou-se que as diferenças significativas entre as técnicas de recuperação e destas com a área de FLO diminuíram consideravelmente. Isso aconteceu sob duas condições. No caso do P os teores têm diminuído e para V têm aumentado.

Um resultado interessante é relativo a área de nucleação (N14), na qual se observou pelas avaliações do ano 2 e 3 que os atributos químicos, principalmente MO e V, têm evoluído positivamente (Tabela 1), comparando-se aos solos das áreas mais antigas, como P09. Os valores baixos de MO na área N14 devem ocorrer, inicialmente, em função da metodologia do sistema, no qual não há eficiência na deposição de serrapilheira no solo e o topsoil, que representa a principal fonte de MO, está disposto em núcleos.

Considerando a avaliação das áreas mais antigas (RN09 e P09) observou-se que no geral, dentro do período avaliado, a fertilidade do solo é mais evoluída na área sob regeneração

natural. Isso pode ser explicado em função dos tratos culturais, como capina, que aconteceram na área sob P09 nos anos iniciais do processo de recuperação (SANTOS, 2018).

Na comparação das áreas sob a técnica de plantio de mudas mais antigas (P09) com as mais novas (P14) em processo de recuperação foi possível observar uma equiparação dos resultados. Isso demonstra que fatores como preparo de área, escolha de espécies utilizadas ou práticas de manejo podem ter influenciado no desempenho dos plantios realizados em 2009.

6.2. Evolução dos atributos químicos no período de avaliação

N Na avaliação da evolução dos atributos químicos do solo construído após mineração de bauxita evidenciou-se que os valores de pHH_2Opodem ser classificados, em sua maioria, entre acidez forte (pH 3,5-4,5) a moderada (pH 4,5-5,5), conforme Embrapa (1999),com os menores valores na área sob FLO, e que nas áreas sob técnicas de restauração florestal houverem reduções significativas a partir da primeira avaliação (Tabela 2). Os menores valores na FLO podem estar associados ao fato de que nessa área há uma maior decomposição de material orgânico, e consequentemente, maior liberação de ácidos fúlvicos e húmicos (BRADY; WEIL, 2013).

Tabela 2 – Evolução dos valores de pH H2O em cada técnica de restauração florestal, após mineração de bauxita, entre 2016 e 2018, em Paragominas.

pH em água							
Profundidade (cm)	**Ano de Avaliação**	**FLO**	**N14**	**P09**	**P14**	**RN09**	**RN14**
0 a 10	1	4,38 b	4,87 a	4,93 a	5,01 a	5,08 a	5,0 a
	2	4,72 ab	4,96 a	4,64 b	4,88 ab	4,97 a	4,83 a
	3	4,99 a	4,65 b	4,63 b	4,66 a	4,87 a	4,75 a
10 a 20	1	4,21 b	4,85 a	4,62 a	4,77 a	4,97 a	4,53 b
	2	4,62 a	4,85 a	4,64 a	4,73 a	4,88 a	4,89 a
	3	4,65 a	4,67 b	4,50 a	4,54 a	4,70 a	4,75 ab
20 a 40	1	4,35 a	4,73 a	4,74 a	4,74 a	5,08 a	4,53 a
	2	4,53 a	4,77 a	4,64 a	4,67 a	4,98 a	4,82 a
	3	4,46 b	4,67 a	4,62 a	4,57 a	4,82a	4,76 a

Fonte: As autoras.
*FLO: fragmento florestal; N14: nucleação ano 2014; P09: plantio de mudas ano 2009; P14 plantio de mudas ano 2014; RN09: regeneração natural ano 2009; RN14: regeneração natural ano 2014.

A redução dos valores pH do solo ocasionam maior disponibilidade do Al^{+3} e diminuição das bases trocáveis (FRANCHINI et al., 2000), o que justifica os maiores valores de m (Tabela 1) obtidos nas camadas0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm das áreas sob FLO. Corroborando com os resultados do presente estudo, Bizutti (2017) também constatou em solo

sob floresta valores mais baixos de pH e valores elevados de acidez potencial e de matéria orgânica, ao avaliar atributos químicos de um solo degradado por mineração de bauxita, comparando uma área recém-minerada, uma área submetida à recuperação florestal e uma área de floresta nativa inexplorada.

Em relação a matéria orgânica (MO) observou-se os maiores conteúdos nas áreas sob remanescente de floresta (FLO), os quais não variam ao longo do período avaliado (Tabela 3) em todas as profundidades estudadas.

Tabela 3 – Evolução dos valores de matéria orgânica (MO) em cada técnica de restauração florestal, após mineração de bauxita, entre 2016 e 2018, em Paragominas.

		MO (g kg $^{-1}$)					
Profundidade (cm)	**Ano de Avaliação**	**FLO**	**N14**	**P09**	**P14**	**RN09**	**RN14**
0 a 10	1	33,32 a	6,7 b	18,01 a	15,29 b	25,36 ab	17,11 a
	2	35,25 a	15,69 a	21,23 a	24,31 a	18,46 b	21,08 a
	3	38,38 a	11,77 ab	20,92 a	21,69 ab	26,61 a	18,23 a
10 a 20	1	22,77 a	4,22 b	15,11 a	9,43 b	18,09 a	10,59 b
	2	21,46 a	12,21 a	13,92 ab	18,92 a	22,46 a	19,77 a
	3	23,77 a	11,23 a	14,38 ab	20,15 a	22,77 a	14,15 b
20 a 40	1	14,52 b	2,46 b	6,82 b	4,19 b	13,09 a	4,17 b
	2	18,00 a	8,92 a	9,46 a	15,23 a	12,31 a	9,31 a
	3	12,62 b	7,93 a	10,23 a	11,62 a	13,46 a	8,54 a

Fonte: As autoras.

*FLO: fragmento florestal; N14: nucleação ano 2014; P09: plantio de mudas ano 2009; P14 plantio de mudas ano 2014; RN09: regeneração natural ano 2009; RN14: regeneração natural ano 2014.

Em todas as profundidades, a N14 apresentou menores teores de MO, o que provavelmente aconteceu em função do procedimento de coleta, que é realizada entre os montes de topsoil e galhadas, onde o material estéril predomina. Embora os sistemas implantados em 2014 possuíssem baixos teores de MO quando comparados a FLO, nota-se um incremento no decorrer dos anos (Tabela 3).

As áreas sob RN09, por sua vez, mostraram-se mais próximas da FLO, inclusive no comportamento de não variação do conteúdo de MO ao longo do período de estudo nas diferentes camadas estudadas. Isso evidencia o fato de que ao deixar a área sob regeneração natural desprovida de tratos silviculturais severos, como capina, roçagem e coroamento, ocorre maior acúmulo de biomassa sobre o solo, além da redução dos custos operacionais (SANTOS, 2018; SHONO et al., 2007).

Braga et al. (2016), em seu estudo, ressaltam a importância da biomassa em florestas tropicais para a ciclagem de nutrientes, a qual é sempre elevada e constante. Banninget al., (2008) consideram que, em áreas mineradas sob processo de recuperação, ações que visem ao aumento do teor de carbono orgânico no solo são fundamentais para garantir uma maior atividade biológica e, consequentemente, um aumento na disponibilidade de nutrientes por meio da mineralização da matéria orgânica. Tal fato justifica a necessidade de se adotar práticas de manejo que visem a produção e manutenção da biomassa em solos degradados, como os avaliados neste estudo.

Quanto ao P observou-se que os teores encontrados em todas as áreas estudadas são classificados como baixo, segundo Embrapa (2007), embora tenham sido observadas algumas diferenças significativas ao longo do período avaliado (Tabela 4), principalmente na camada de 0-10 cm, na qual se obtiveram os maiores valores. Isso possivelmente está associado a questões climáticas, pois nesse período, houve um longo período seco sucedido de um período muito chuvoso, proporcionando maior decomposição de MO e liberação de nutrientes. Salles (2007), em seu estudo, demostra que as primeiras chuvas causam elevadas transferências deste elemento contido na serapilheira para o perfil do solo.

Tabela 4 – Evolução dos valores de fósforo (P) em cada técnica de restauração florestal, após mineração de bauxita, entre 2016 e 2018, em Paragominas.

		P (mg dm^{-3})					
Profundidade (cm)	**Ano de Avaliação**	**FLO**	**N14**	**P09**	**P14**	**RN09**	**RN14**
0 a 10	1	2,02 a	1,08 a	2,04 a	1,45 a	2,02 a	1,58 a
	2	0,92 b	0,30 b	0,34 b	0,82 b	0,12 a	0,74 b
	3	1,3 b	0,00 c	0,00 b	0,00 c	0,18 a	0,00 c
10 a 20	1	1,17 a	0,33 a	1,14 a	0,58 a	1,26 a	0,87 a
	2	0,22 c	0,16 a	0,83 b	0,57 a	0,13 b	0,44 b
	3	0,52 b	0,00 b	0,00 c	0,00 b	0,11 b	0,09c
20 a 40	1	0,77 a	0,42 a	0,86 a	0,59 a	1,11 a	0,58 a
	2	0,16 b	0,13 b	0,54 a	0,37 a	0,07 b	0,29b
	3	0,35 b	0,00 b	0,00 b	0 b	0,12 b	0,00 c

Fonte: As autoras.
*FLO: fragmento florestal; N14: nucleação ano 2014; P09: plantio de mudas ano 2009; P14 plantio de mudas ano 2014; RN09: regeneração natural ano 2009; RN14: regeneração natural ano 2014.

Em relação a CTC dos solos construídos (Tabela 5) observou-se que nas áreas sob N14 e P09 não ocorreram diferenças significativas ao longo dos três anos de monitoramento em todas as profundidades, o que de certa forma acompanha o que aconteceu com os teores de matéria orgânica (Tabela 3), que geralmente influenciam diretamente a capacidade do solo em reter cátions.

Tabela 5 – Evolução dos valores de capacidade de troca de cátions (CTC) em cada técnica de restauração florestal, após mineração de bauxita, entre 2016 e 2018, em Paragominas.

CTC ($cmol_c\ dm^{-3}$)							
Profundidade (cm)	**Ano de Avaliação**	**FLO**	**N14**	**P09**	**P14**	**RN09**	**RN14**
0 a 10	1	13,93 a	4,54 a	7,66 a	6,51 a	9,57 a	6,58 a
	2	8,22 b	4,40 a	5,04 a	6,20 b	7,07 a	5,88 a
	3	8,73 b	3,68 a	5,06 a	5,51 b	5,45 b	5,14 a
10 a 20	1	11,35 a	3,29 a	6,45 a	5,91 a	8,06 a	4,84 b
	2	6,77 b	3,22 a	4,65 b	6,54 a	4,90 b	6,17 a
	3	6,65 b	3,72 a	4,25 b	5,61 a	4,94 b	4,42 b
20 a 40	1	6,68 a	2,46 a	3,75 a	2,84 b	4,99 a	3,09 a
	2	5,86 a	2,85 a	3,61 a	5,27 a	4,08 a	3,77 a
	3	4,33 b	2,87a	3,32 a	3,62 b	3,64 a	3,01 a

Fonte: As autoras.
*FLO: fragmento florestal; N14: nucleação ano 2014; P09: plantio de mudas ano 2009; P14 plantio de mudas ano 2014; RN09: regeneração natural ano 2009; RN14: regeneração natural ano 2014.

Os resultados de CTC demonstram ainda que os maiores valores foram obtidos na primeira avaliação (Tabela 5), caso principalmente das áreas de FLO e RN09, onde ocorreram maiores valores de MO e de acidez potencial (H+Al), conforme Tabela 1.

Na avaliação da saturação por bases (V) ao longo do tempo (Tabela 6) foi possível notar o incremento nessa variável a partir do primeiro ano, em todas as áreas e camadas estudadas. Esses resultados evidenciam melhorias na fertilidade do solo construído, o que é importante na produção de biomassa da vegetação nesses ambientes. Os maiores valores foram observados na camada mais superficial, provavelmente em função de ser a faixa de deposição do topsoil e de acúmulo de MO.

Tabela 6 – Evolução dos valores de saturação por bases (V%) em cada técnica de restauração florestal, após mineração de bauxita, entre 2016 e 2018, em Paragominas.

Saturação por bases (%)							
Profundidade (cm)	**Ano de Avaliação**	**FLO**	**N14**	**P09**	**P14**	**RN09**	**RN14**
0 a 10	1	4,83 b	15,38 b	13,72 b	19,01 b	19,42 b	14,86 b
	2	56,35 a	37,95 a	35,53 a	28,76 b	52,75 a	32,68 a
	3	46,08 a	45,37 a	37,86 a	50,12 a	62,21 a	43,93 a
10 a 20	1	2,6 b	12,29 c	7,68 b	11,80 b	15,02 b	9,09 b
	2	22,66 a	28,83 b	13,41 b	19,71 b	21,17 b	35,38 a
	3	37,21 a	45,94 a	27,93 a	47,45 a	61,53 a	39,28 a
20 a 40	1	4,55 b	8,36 c	9,23 b	8,38 b	18,44 b	11,25 b
	2	13,93 ab	21,49 b	11,64 b	25,14 a	30,05 b	20,43 a
	3	17,96 a	35,98 a	21,61a	35,41a	55,17 a	29,75 a

Fonte: As autoras.
*FLO: fragmento florestal; N14: nucleação ano 2014; P09: plantio de mudas ano 2009; P14 plantio de mudas ano 2014; RN09: regeneração natural ano 2009; RN14: regeneração natural ano 2014.

Os resultados de saturação por alumínio (Tabela 7) confirmam os obtidos para os valores de V (Tabela 6), pois demonstram que os aumentos nos valores dessa variável são acompanhados pela redução dos valores de m.

Tabela 7 – Evolução dos valores de saturação por alumínio (m%) em cada técnica de restauração florestal, após mineração de bauxita, entre 2016 e 2018, em Paragominas.

Saturação por Al (%)							
Profundidade (cm)	**Ano de Avaliação**	**FLO**	**N14**	**P09**	**P14**	**RN09**	**RN14**
0 a 10	1	75,69 a	24,58 a	27,05 a	18,94 a	15,42 a	30,20 a
	2	7,02 b	2,28 b	7,52 b	3,37 b	2,41 b	4,25 b
	3	2,29 b	2,88 b	4,91 b	3,63 b	1,93 b	4,41 b
10 a 20	1	88,21 a	33,12 a	55,83 a	26,84 a	24,99 a	63,29 a
	2	6,59 c	2,95 b	9,2 c	4,55 c	5,85 b	2,52 c
	3	20,66 b	5,97 b	21,57 b	10,73 b	7,64 b	12,03 b
20 a 40	1	83,36 a	31,46 a	40,45 a	18,45 a	20,97 a	31,40 a
	2	7,82 c	1,09 b	5,93 c	4,23 b	2,26 b	2,45 c
	3	42,38 b	4,87 b	21,54 b	11,88 ab	8,05 b	11,94 b

Fonte: As autoras.
*FLO: fragmento florestal; N14: nucleação ano 2014; P09: plantio de mudas ano 2009; P14 plantio de mudas ano 2014; RN09: regeneração natural ano 2009; RN14: regeneração natural ano 2014.

7. CONCLUSÃO

Considerando a fertilidade do solo é possível afirmar que as áreas sob restauração florestal mais novas estão se equiparando as mais velhas.

O monitoramento dos atributos químicos permite visualizar a contribuição das técnicas de restauração florestal na evolução da fertilidade nas áreas após mineração de bauxita.

Práticas de manejo, tais como: adubação e capina afetam o desenvolvimento inicial do processo de recuperação das áreas degradadas, principalmente quando se utiliza a técnica de plantio de mudas nativas.

As técnicas de restauração florestal implantadas em 2014 por plantio e nucleação (P14 e N14) foram os sistemas que mais se distanciaram dos aspectos químicos do solo da área sob floresta nativa, o que demonstra a importância do monitoramento por mais tempo.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam ser importante a continuidade da avaliação dos atributos químicos, em intervalos mais curtos, nas áreas sob processo de restauração florestal mais novas.

Os resultados demonstram ser possível um monitoramento dos atributos químicos do solo em intervalos mais longos nas áreas sob processo de recuperação mais velhas, ou seja, a partir sete anos da implantação.

8. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ANTONIADIS V; KOLINIATI R; EFSTRATIOU E; GOLIA E; PETROPOULOS S. Effects of soils with varying degree of weathering and pH values on phosphorus adsorption**. Catena**. 2016; 139:214-219.

BANNING N.C; GRANT, C.D; JONES, D.L; MURPHY, D.V. Recovery of soil organic matter, organic matter turnover and nitrogen cycling in a post-mining forest rehabilitation chronosequence. **S. Bio. Biochem**. 2008; 40:2021-2031.

BARBOSA, L.M. coord. **MANUAL PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS DO ESTADO DE SÃO PAULO**: Matas Ciliares do Interior Paulista. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. p.52-70.

BIZUTI, D.T.G. **É possível reverter a degradação do solo provocada pela mineração de bauxita por meio da recuperação florestal?** [Tese]. Piracicaba: Universidade de São Paulo-Campus ESALQ; 2017.

BRADY N.C; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3rd ed. Porto Alegre: Editora Bookman; 2013.

BRAGA, R.M; SOUSA, F.F; VENTURIN, N; BRAGA, F.A. Biomassa e atividade microbiana sob diferentes coberturas florestais. **Cer**. 2016; 22(2):137-144.

CHAZDON, R. L.; GUARIGUATA, M. R. Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. **Biotrópica**48(6): 716-730, 2016.

CONSTANTINO, V. R. L.; ARAKI, K.; SILVA, D. O; OLIVEIRA, W. Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita. **Revista Química Nova,** Vol. 25, nº 3, 2002.

FRANCHINI, J.C; BORKERT, C.M, Ferreira MM, Gaudêncio CA. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **R. Bras. Ci. S**. 2000 24:459-467.

GONÇALVES, J. M. L. et al. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, P.Y. et al (Orgs.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p.111-163.

IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnica de revegetação.** Brasília, 1990. p.11-12. IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. Informações e Análise da Economia Mineral Brasileira [internet]. Brasília-DF: IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração; [accessed on: 12 Nov 2018]. Available at: www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf

KAMPF, N. et al. Solos construídos em áreas de mineração da bacia carbonífera. In: **Carvão e meio ambiente**: Centro de Ecologia da UFRGS. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p.596-640.

KÄMPF, N.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. Propriedades pedogênese e classificação de solos construídos em áreas de mineração na Bacia Carbonífera do Baixo Jacuí. **Revista Brasileirade Ciência do Solo,** v.21, n.1, p.79-88, 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Ceres, 2006, 638 p.

MARANGUIT D; GUILLAUME, T; KUZYAKOV, Y. Land-use change affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. **Cat**. 2017; 149:385-393.

MARTINS, S.V. Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. 1st ed. Viçosa: **Aprenda Fácil Editora**; 2009.

MARTINS, W.B.R; FERREIRA, G.C; SOUZA, F. P; DIONISIO, L. F. S; OLIVEIRA, F. A. Deposição da serrapilheira e nutrientes em áreas de mineração submetidas a métodos de restauração florestal em Paragominas, Pará. **Rev. Floresta.** Curitiba-PR. V.48. n.1. 2018.

MENDES, F. P. F. **Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano** [tese]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 2004.

MIAO, Z.; MARRS, R. Ecological restoration and land reclamation in open-costa mines in Shanxi Province, China. **Journal of Environmental Management**, v.59, n.3, p.205-215, 2000.

MIRANDA NETO, A.; MARTINS S. V.; SILVA, K. A.; LOPS, A. T.; DEMOLINARI, R. A. Natural regeneration in a restored bauxite mine in south east Brazil. **Bosque**, v. 35, n. 3, p. 377-389, 2014.

MOURA, A. R. S. et al. **PROCESSO DE OBTENÇÃO DO ALUMÍNIO**. [Dissertação].

BELÉM-PA: Universidade Federal do Pará 2008. 181p.

NETO, A.B.B. **EFEITOS DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL SOBRE OS ATRIBUTOS DO SOLO E DA VEGETAÇÃO APÓS A MINERAÇÃO DE BAUXITA EM PARAGOMINAS, PARÁ** [Dissertação]. Belém-PA: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2017.

NETO, A. M; MARTINS, S. V; SILVA, K; LOPES, A.T; DEMOLINARI, R.A. Natural regenation in a restored bauxite mine in southeast Brazil. **Rev. Bosque**. 2014. p. 377-389.

PINTO, L. F. S. **Potencial de acidificação e de neutralização dos materiais geológicos para a composição do solo construído em áreas de mineração de carvão**. 1997. 186f.Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

REDEL, Y; RUBIO, R.; GODOY, R; BORIE, F. Phosphorus fractions and phosphatase activity in an Andisol under different forest ecosystems. **Geod**. 2008; 145:216-221.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG, 1999. 359p.

RODRIGUES, B. D.; MARTINS, S. V.; LEITE, H. G. Avaliação do potencial da transposição da serapilheira e do banco de sementes do solo para recuperação florestal em áreas degradadas. **Revista Árvore**, v.34, n.1, p.65-73, 2010.

RODRIGUES, R.R. & GANDOLFI, S. Restauração de florestas tropicais: subsídios para uma definição metodológica e indicadores de avaliação e monitoramento. In. Dias, L.E. & Melo, J.W.V. (eds) **Recuperação de áreas degradadas**. UFV, Sociedade Brasileira de Recuperação de **Áreas Degradadas. 1998, p.203-15.**

SALOMÃO, RP; BRIENZA, Júnior S; ROSA, N.A. Dinâmica de reflorestamento em áreas de restauração após mineração em unidade de conservação na Amazônia. **Revista Árvore**. p.1-24, 2014.

SALOMÃO, R. P.; BRIENZA JÚNIOR, S.; ROSA, N. A. Dinâmica de reflorestamento em áreas de recuperação após mineração em unidade de conservação na Amazônia. **Revista Árvore**, v.38, n.1, p.1-24, 2015.

SANTOS, C. R. Dos S. **ADSORÇÃO DO FÓSFORO EM SOLO SOB RECUPERAÇÃO FLORESTAL APÓS MINERAÇÃO DE BAUXITA EM PARAGOMINAS, PA.** [Dissertação]. Belém-PA: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018.

SCIVITTARO, W. B.; PILLON, C. N. **Calagem e adubação para a cultura da mamona no sul do Brasil**. Pelotas: Empresa Brasileirade Pesquisa Agropecuária, 2006. p.1-8. (Comunicado Técnico Embrapa, 150).

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bio Science journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 29-39, 2007.

SHONO, K; CADAWENG, E.A; DURST, P.B. Application of Assisted Natural Regeneration to Restore Degraded Tropical Forestlands. **Rest. Ecol**. 2007; 15(4):620–626.

SILVA JÚNIOR, C. A. Da; **BOECHAT, C.L; CARVALHO, L. A de.** Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas na região Norte do Pará, Brasil. **Biosci. J.,** Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 566-572, Jul/Ago. 2012

SOUZA, F.M. & BATISTA, J.L.F. Restoration of seasonal semideciduos forest in Brasil: influence of age and restoration design on forest structure. **Forest Ecology and Management**, **v.191, 2004, p.185-200.**

TRINDADE, J. R. **Mineração e políticas de desenvolvimento local para o município de Parauapebas no Pará**. 2011. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1161/1/Minera%C3%A7%C3%A3o%20e%20pol%C3%ADticas%20de%20desenvolvimento%20local.pdf. Acesso em: 04 de jan de 2019.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, K. F.; WERNER, R. S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 134-143, 2016.

WONG, M.H., Lan, C.Y., Gao, L., Chen, H.M., 1999b. Current approaches to managing and remediating metal contaminated soils in China. In: Proc. 5th Int. Conf. **Biogeochem. Trace Elements**, Vienna, Austria, July 1999.

WONG, M.H. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. **Elsevier Science Ltd**. Chemosphere 50. p.775–780, 2003.

WORLD ALUMINIUM. **Sustainable bauxite mining guidelines**. First Edition. 2018. Disponível em: http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2018/05/18/170518_sbmg_final.pdf Acesso em: 04 de jan de 2019

ANEXOS

ANEXO 1 - Correlação entre os atributos químicos na área sob FLO

	pH em água	pH em KCl	H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	P (mg dm^{-3})	M.O. (g kg^{-1})	SB	CTC	V	m
pH em água	1								
pH em KCl	0,89	1							
H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	-0,53	-0,605	1						
P (mg dm^{-3})	-0,17	-0,310	0,666	1					
M.O (g kg^{-1})	0,37	0,219	0,160	0,544	1				
SB	0,68	0,649	-0,446	0,026	0,636	1			
CTC	-0,17	-0,260	0,833	0,735	0,559	0,089	1		
V	0,73	0,727	-0,620	-0,119	0,502	0,935	-0,153	1	
m	-0,72	-0,671	0,698	0,245	-0,374	-0,777	0,323	-0,900	1

ANEXO 2 - Correlação entre os atributos químicos em área sob sistema N14

	pH em água	pH em KCl	H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	P (mg dm^{-3})	M.O. (g kg^{-1})	SB	CTC	V	m
pH em água	1								
pH em KCl	0,48	1							
H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	0,14	-0,158	1						
P (mg dm^{-3})	0,28	0,134	0,576	1					
M.O (g kg^{-1})	0,09	-0,200	-0,199	-0,246	1				
SB	0,11	-0,224	-0,178	-0,204	0,571	1			
CTC	0,18	-0,295	0,631	0,298	0,282	0,633	1		
V	0,04	-0,185	-0,495	-0,375	0,656	0,844	0,281	1	
m	-0,14	-0,137	0,378	0,313	-0,313	-0,396	0,004	-0,538	1

ANEXO 3 - Correlação entre os atributos químicos em área sob o sistema P09									
	pH em água	pH em KCl	H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	P (mg dm^{-3})	M.O. (g kg^{-1})	SB	CTC	V	m
pH em água	1								
pH em KCl	0,45	1							
H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	0,24	-0,188	1						
P (mg dm^{-3})	0,37	0,062	0,714	1					
M.O (g kg^{-1})	0,05	-0,543	0,262	0,099	1				
SB	0,03	-0,458	-0,092	-0,258	0,714	1			
CTC	0,24	-0,350	0,930	0,593	0,515	0,280	1		
V	-0,13	-0,339	-0,490	-0,511	0,511	0,871	-0,152	1	
m	-0,22	-0,023	0,419	0,386	-0,298	-0,673	0,156	-0,746	1

ANEXO 4 - Correlação entre os atributos químicos em área sob o sistema P14									
	pH em água	pH em KCl	H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	P (mg dm^{-3})	M.O. (g kg^{-1})	SB	CTC	V	m
pH em água	1								
pH em KCl	0,63	1							
H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	-0,08	-0,277	1						
P (mg dm^{-3})	0,39	0,107	0,542	1					
M.O (g kg^{-1})	0,08	-0,412	0,303	0,086	1				
SB	0,19	-0,072	-0,143	-0,146	0,574	1			
CTC	0,08	-0,189	0,699	0,360	0,519	0,530	1		
V	0,11	-0,017	-0,468	-0,321	0,347	0,878	0,219	1	
m	-0,27	-0,167	0,366	0,131	-0,212	-0,468	0,079	-0,538	1

ANEXO 5 - Correlação entre os atributos químicos em área sob o sistema RN09									
	pH em água	pH em KCl	H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	P (mg dm^{-3})	M.O (g kg^{-1})	SB	CTC	V	m
pH em água	1								
pH em KCl	0,64	1							
H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	-0,02	0,111	1						
P (mg dm^{-3})	0,08	0,204	0,472	1					
M.O (g kg^{-1})	-0,08	-0,222	0,261	0,078	1				
SB	0,05	-0,067	-0,310	-0,093	0,325	1			
CTC	0,01	0,089	0,804	0,424	0,410	0,282	1		
V	-0,06	-0,251	-0,645	-0,268	0,156	0,743	-0,275	1	
m	-0,32	-0,185	0,480	0,208	-0,048	-0,540	0,192	-0,624	1

ANEXO 6 - Correlação entre os atributos químicos em área sob o sistema RN14

	pH em água	pH em KCl	H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	P (mg dm^{-3})	M.O. (g kg^{-1})	SB	CTC	V	m
pH em água	1								
pH em KCl	0,52	1							
H+Al ($cmol_c$ dm^{-3})	-0,16	-0,163	1						
P (mg dm^{-3})	0,11	0,181	0,589	1					
M.O (g kg^{-1})	0,42	-0,095	0,293	0,187	1				
SB	0,52	-0,038	-0,093	-0,125	0,754	1			
CTC	0,17	-0,157	0,743	0,419	0,686	0,554	1		
V	0,51	-0,074	-0,427	-0,329	0,546	0,884	0,231	1	
m	-0,61	-0,231	0,466	0,301	-0,332	-0,563	0,067	-0,681	1