



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE JURUTI
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

FRANCES MARQUES MOREIRA
JONATHAN CORREA VIEIRA

**FRAÇÕES DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE
BAUXITA COM DIFERENTES ESTÁDIOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM
JURUTI, PA**

JURUTI - PA
2023

FRANCES MARQUES MOREIRA
JONATHAN CORREA VIEIRA

**FRAÇÕES DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE
BAUXITA COM DIFERENTES ESTÁDIOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM
JURUTI, PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para a
obtenção do grau de Bacharel em Agronomia, no
Campus Universitário de Juruti, na Universidade
Federal do Oeste do Pará.
Área de concentração: Ciências Agrárias

Orientador(a): Celeste Queiroz Rossi

JURUTI - PA
2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

- M838f Moreira, Frances Marques; Vieira, Jonathan Correa
 Frações do carbono orgânico do solo em área de mineração de bauxita com diferentes estádios de restauração florestal em Juruti / Frances Marques Moreira, Jonathan Correa Vieira – Juruti, 2023.
 37 p. : il.
 Inclui bibliografias.
- Orientador: Celeste Queiroz Rossi
 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Universitário de Juruti, Bacharelado em Agronomia.
1. degradação do solo. 2. Amazônia. 3. nucleação. I. Rossi, Celeste Queiroz, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 363.7


FRANCES MARQUES MOREIRA
JONATHAN CORREA VIEIRA

**FRAÇÕES DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE
BAUXITA COM DIFERENTES ESTÁDIOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM
JURUTI, PA**


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para
obtenção do grau de Bacharel em Agronomia, no Campus
Universitário de Juruti, na Universidade Federal do Oeste
do Pará.

Conceito: **APROVADO**


Data da Aprovação: **12/01/2023**

Documento assinado digitalmente
 CELESTE QUEIROZ ROSSI
Data: 01/02/2023 21:13:38-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profª Drª Celeste Queiroz Rossi – Orientadora
Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Universitário de Juruti (CJUR/UFOPA)

Documento assinado digitalmente
 MICHELLY RIOS AREVALO
Data: 02/02/2023 07:07:46-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Michelly Rios Arévalo
Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Universitário de Juruti (CJUR/UFOPA)

Documento assinado digitalmente
 GUSTAVO FERREIRA DE OLIVEIRA
Data: 02/02/2023 07:53:55-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Gustavo Ferreira de Oliveira
Universidade Federal do Oeste do Pará – Campus Universitário de Juruti (CJUR/UFOPA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo direcionamento, força e sabedoria durante toda esta trajetória, sem Ele nada disso faria sentido.

À minha família. Em especial aos meus avós paternos, Francisco e Dona Raimunda e aos meus pais, Edmilson e Nilzete, formadores do meu caráter e personalidade como ser humano, base fundamental de apoio, exemplo e inspiração que me mantem de pé.

A Marcia, pela graciosidade em seus conselhos, apoio e incentivo em todos os meus sonhos.

Agradeço a Universidade Federal do Oeste do Pará do campus universitário de Juruti, pelas portas abertas que me permitiram a realização de um sonho.

Ao corpo docente e administrativo do campus. Em especial a prof. Dra. Dayse Vieira, por ser inspiração e motivação, um exemplo de amor ao ensino.

A minha excelente orientadora, prof. Dra. Celeste Rossi, pelas orientações, ensino, conselhos e disponibilidade nesses cinco anos de trajeto universitário.

Ao Jonathan, pela confiança e parceria nesse trabalho. Desejo sucesso e muitas conquistas em sua caminhada.

Frances Marques Moreira

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família. Em especial a minha mãe, Sandra e meu pai (Carlos Alberto), por sempre terem se esforçado para que eu e meus irmãos pudéssemos estudar.

Agradeço a minha esposa, amiga, professora e maior incentivadora Dayse Drielly.

Agradeço aos colegas por essa jornada juntos, pelo respeito e companheirismo.

Ao Frances pela parceria de sempre.

Agradeço a minha orientadora professora Dra. Celeste Queiroz Rossi pela dedicação e amizade.

Agradeço a UFOPA Campus Juruti.

Jonathan Correa Vieira

RESUMO

O objetivo do estudo foi quantificar os teores de carbono orgânico total e suas respectivas frações químicas. O estudo foi realizado no município de Juruti (PA), localizado na Mesorregião do Baixo Amazonas. Foram selecionadas 3 áreas com diferentes tempos de restauração florestal e uma área de referência: A1: área reflorestada em 2018; A2: área reflorestada em 2015; A3: área reflorestada em 2012; e A4: área de Floresta. Em cada área amostral foram realizadas coletas de amostras para avaliação das propriedades químicas dos solos. As amostras deformadas foram coletadas nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 m mediante a abertura de quatro mini trincheiras em cada área. Em cada mini trincheira foram retiradas 3 amostras simples por profundidades. As amostras foram homogeneizadas para formar uma amostra composta. As amostras foram secas ao ar e destorroadas, e passadas por peneiras de 2mm para a obtenção da terra fina seca ao ar. Neste material foram quantificados os teores de carbono orgânico total (COT), particulado (COp) e associado aos minerais (COam). Também foram quantificados os teores de carbono das frações ácido fúlvico (C-FAF), ácido húmico (C-FAH) e humina (C-HUM). Na profundidade de 0-0,05 m, na área A4 (floresta) foram quantificados os maiores teores de COT, COam, C-FAH e C-HUM; já na profundidade de 0,10-0,20 m, na área A1 (restauração mais recente) foram observados os maiores teores de COT, COp, COam, C-FAF, C-FAH e C-HUM. Conclui-se que o processo de restauração florestal nas áreas mineradas, utilizando o método de nucleação, foi capaz de manter ou elevar os teores de carbono orgânico total e de suas respectivas frações orgânicas físicas e químicas.

Palavras-chave: Degradação do solo. Amazônia. Nucleação.

ABSTRACT

The objective of the study was to quantify the total organic carbon contents and their respective chemical fractions. The study was carried out in the municipality of Juruti (PA), located in the Lower Amazon Mesoregion. Three areas with different forest restoration times and a reference area were selected: A1: reforested area in 2018; A2: area reforested in 2015; A3: area reforested in 2012; and A4: Forest area. In each sampling area, samples were collected to evaluate the chemical properties of the soils. The deformed samples were collected at depths of 0-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20 m by opening four mini trenches in each area. In each mini trench, 3 simple samples were taken by depth. The samples were air-dried and crushed, and passed through 2mm sieves to obtain air-dried fine soil. In this material, the levels of total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC) and organic carbon associated to (OCam) minerals were quantified. The carbon contents of the fulvic acid (C-FAF), humic acid (C-FAH) and humins (C-HUM) fractions were also quantified. At a depth of 0-0.05 m, in area A4 (forest) the highest contents of TOC, OCam, C-FAH and C-HUM were quantified; at a depth of 0.10-0.20 m, in area A1 (most recent restoration), the highest contents of TOC, POC, OCam, C-FAF, C-FAH and C-HUM were observed. It is concluded that the forest restoration process in the mined areas, using the nucleation method, was able to maintain or increase the total organic carbon contents and their respective physical and chemical organic fractions.

Keywords: Soil degradation; Amazon; Nucleation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principais substâncias produzidas e participação no faturamento do setor.....13

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Bioma Amazônico	11
2.2 Impactos da mineração no bioma Amazônico	12
2.3 Métodos de restauração em áreas degradadas	14
2.4 Importância da MO no solo	15
3 CAPÍTULO 1	17
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia tem destaque por sua riqueza em espécies e recursos naturais, exibindo grande biodiversidade, riqueza mineral e florestal abrigando cerca de 30 % das espécies encontradas na América do Sul (IMAZON, 2012). É constituída originalmente por uma floresta tropical, com árvores de médio e grande porte e estabelecida geralmente em solos de baixa fertilidade natural, onde os nutrientes são originados da decomposição de folhas, frutos, ramos e animais mortos. Essa ciclagem de nutrientes é que mantém o ecossistema equilibrado e favorecem um bom desenvolvimento da fauna e flora (MARGULIS, 2003).

Na Amazônia, vários levantamentos foram realizados sobre os depósitos de bauxita. Dentre eles, destacam-se os depósitos de Carajás, Paragominas (KOTSCHOUBEY, 2005) de Rondon do Pará (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Destacam-se ainda os depósitos de rochas siliciclásticas da Formação Alter do Chão os trabalhos de Boulangé e Carvalho, 1997 e Antoniassi, 2010, os dois em Porto Trombetas, os de Cruz, 2011 e Costa *et al.* 2014, em Juruti.

No Brasil, a área coberta por lateritas com idades de formação desde o período Arqueano até o terciário, chegam a ocupar uma área de 75%, devido a sua localização quase inteiramente na faixa tropical do globo. Os principais minerais oriundos do processo de laterização são compostos de Fe, Al, Mn, Ni, Nb e fosfatos (TEIXEIRA *et al.*, 2000). As maiores reservas de bauxita se concentram principalmente na região amazônica, contudo, reservas importantes também podem ser encontradas na região sul, sudeste e centro-oeste do Brasil.

A extração de recursos minerais consiste de uma prática que pode trazer sérios prejuízos para o ambiente em consequência de grande poder de degradação promovido pela atividade, reduzindo a vegetação nativa e a fauna e removendo ou alterando a camada fértil do solo (MENDES FILHO, 2004). A vegetação e a fauna nativa são destruídas ou excluídas, a camada fértil do solo é retirada ou perdida e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico são modificados, transformando-se em área degradada.

O impacto da mineração de bauxita sobre o ambiente físico pode apresentar efeitos negativos significativos caso não sejam mitigados corretamente, gerando riscos para o processo de recuperação ambiental e impossibilitando o retorno às propriedades originais dos recursos do solo e da água. Já os impactos sociais gerados pela mineração de bauxita, na maioria das vezes são positivos, e colabora com o desenvolvimento regional através da

arrecadação de impostos, criação de empregos direto e indireto, desenvolvimento de educação ambiental para a comunidade e a fixação das pessoas em seus locais de origem (BARROS *et al.*, 2012). Somado a isso, as empresas mineradoras brasileiras estão, cada vez mais, implementando práticas que visem à obtenção de melhores resultados na recuperação e manejo das áreas degradadas pela mineração (MOREIRA, 2004).

Nesse contexto, tem-se, por exemplo, a extração da bauxita, que é uma rocha constituída de minerais hidratados de alumínio utilizados nas indústrias químicas, de abrasivos e de cimento (BARROS *et al.*, 2012). Contudo, ainda são poucos os estudos que avaliam os impactos que ocorrem sobre o meio ambiente em função dos processos de extração mineral.

Escolher espécies vegetais pioneiras e resistentes é fundamental para o início do processo de restauração de ambientes minerados (RIOS *et al.*, 2017). A revegetação destas áreas depende do restabelecimento de uma microbiota ativa e de mudanças físicas e químicas no meio, propiciando condições necessárias para a reabilitação do solo e consequente retomada das espécies vegetais nativas (TRINDADE *et al.*, 2000).

A restauração é uma atividade que exige uma abordagem sistemática de planejamento e visão a longo prazo e não apenas uma tentativa limitada de remediar um dano. A intervenção em áreas degradadas, através de técnicas de manejo, pode acelerar o processo de regeneração, permitir o processo de sucessão e evitar a perda de biodiversidade (BARBOSA, 1992). O sucesso do processo de revegetação nas áreas impactadas pela mineração exige o uso de espécies nativas, pioneiras, adaptadas ao ambiente e resistentes para se desenvolverem em ambientes com baixa fertilidade, elevado pH, presença de elementos tóxicos, agregação fraca e baixa retenção de umidade, entre outros fatores (LÓPEZ-ORENES *et al.*, 2017).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bioma Amazônico

O Bioma Amazônico compreende uma extensão geográfica de aproximadamente 4.196.943,00 km² apenas em território brasileiro, abrangendo os seguintes estados: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima, parte do Maranhão, Mato Grosso, Rondônia e Tocantins, e suas dimensões também alcançam mais sete países do continente sul americano (IBF – INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS, 2022). Além do Brasil, os outros países que constituem esse bioma são Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Guiana e Suriname (TILIO NETO, 2010). O Bioma Amazônico representa 49,29% de todo território brasileiro que é de 8.515.767,049 km², se destacando como o maior Bioma. O Estado do Pará compreende 29,73% da Amazônia no território brasileiro, e representa 14,65% do território nacional (IBGE, 2016).

A Amazônia se realça por sua riqueza em espécies e recursos naturais, exibindo grande biodiversidade, riqueza mineral e florestal. Das mais de 120.000 espécies de animais que existem no Brasil, o bioma Amazônico abriga 73% das espécies de mamíferos e 80% das aves, (CTFB, 2022). De acordo com a (FLORA DO BRASIL, 2022), das 49.987 espécies reconhecidas para a flora brasileira, 13.056 foram identificadas como de ocorrência no bioma Amazônia.

Segundo Margulis, 2003, a Amazônia é formada originalmente por uma floresta tropical, com árvores de médio e grande porte, estabelecida geralmente em solos de baixa fertilidade natural, os nutrientes que alimentam essa floresta ficam disponíveis pela decomposição de partes vegetativas das plantas e por animais mortos. Com isso, o ecossistema se mantém equilibrado favorecendo o desenvolvimento da fauna e flora do bioma. Mesmo os solos em sua maioria sendo pobres em nutrientes, na região amazônica diversos estudos indicam grandes depósitos de minerais, estes, de significativa importância e potencial econômico. Com destaque para os estudos relativos aos depósitos de Bauxita, em Carajás e Paragominas (KOTSCHUBEY, 2005), os de Rondon do Pará (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Destacam-se também, os estudos de Boulangé e Carvalho, 1997 e Antoniassi, 2010, que discorrem sobre as rochas siliciclásticas da Formação Alter do Chão em Porto Trombetas, os de Cruz, 2011 e Costa *et al.* 2014, em Juruti.

Nesse cenário, a Amazônia é considerada uma das principais áreas verdes do planeta, entretanto, ao longo dos anos ela vem sofrendo sucessivas intervenções (desmatamento,

expansão da fronteira agropastoril, invasões de terras indígenas ou da união para subtração de madeiras nobres de forma ilegal, e ainda por atividades de mineração, dentre outros) que podem provocar degradação e/ou alterar seu ecossistema natural. Existem evidências/estudos que mostram que a Amazônia funciona como o coração do mundo e que injúrias nesse ambiente podem afetar e vem prejudicando significativamente características de outras regiões (clima, precipitação, secas, etc.) (CAVALCANTI *et al.*, 2021).

Nesse sentido, com intuito de preservar a floresta existem diversas formas de manter e/ou otimizar o bioma Amazônico, sendo possível produzir, fomentar e dar condições para as pessoas e os negócios presentes nesse ambiente, através de atividades a exemplo, do turismo, da agricultura sustentável, da moda sustentável, produtos florestais não madeireiros, sistemas agroflorestais, exploração de minerais, etc. Desde que seja possível mitigar os processos de exploração com práticas de recuperação que tragam benefícios tangíveis para esse ecossistema.

2.2 Impactos da mineração no bioma Amazônico

De acordo com o Instituto Minere, 2018, a mineração é um dos setores básicos da economia brasileira, sendo uma importante fonte de renda e suporte financeiro e econômico para o país, representando 5% do PIB nacional. Em 2021 o setor registrou faturamento de R\$ 339,1 bilhões, recolhendo R\$ 10,3 bilhões (CFEM – participação na arrecadação total), sendo que a arrecadação total incluindo o CFEM foi de R\$ 117 bilhões, neste mesmo ano as exportações brasileiras alcançaram US\$ 58 bilhões. Em 2020 os estados que mais se beneficiaram com essas arrecadações, foram: PA - 46,8%, MG – 44,7%, GO – 1,6%, BA – 1,7%, MT – 1,0% e SP – 0,9%, (IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2020). Na Figura 1 podem ser observadas as principais substâncias produzidas no país e suas respectivas participações.

Figura 1 – Principais substâncias produzidas e participação no faturamento do setor.



Fonte: IBRAM. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/?txtSearch=&checkbox-section%5B%5D=1>
236

A mineração faz parte do nosso cotidiano, tendo grande influência em nossa vida, pois seria impossível haver o desenvolvimento da forma que vivemos hoje sem a exploração mineral. Os avanços das tecnologias e os estudos contribuíram significativamente e fizeram com que o minério esteja presente em nosso dia a dia. O mineral é um recurso que só tem valor quando é retirado e processado, e está presente em eletrônicos, nos transportes, na construção civil, utensílios de metal, medicamentos e até mesmo em alimentos (VALE, 2015).

É sabido que a mineração pode impactar o meio ambiente, no entanto se forem pensadas e projetadas às devidas precauções, esses danos podem em muito ser reduzidos. Em contrapartida, é inegável que os produtos obtidos por meio da atividade mineral proporcionam qualidade de vida e conforto, sendo indispensáveis ao estilo e vida atual do homem (FREITAS, 2019).

Segundo Pegg, 2006, a mineração alavanca o desenvolvimento e a interiorização das pessoas, cria perspectivas de melhor infraestrutura e modificações positivas na indústria, além de gerar emprego e renda no país e para a região onde pratica suas atividades, contribuindo para a arrecadação fiscal, e o desenvolvimento de tecnologias. Por outro lado, o setor de mineração é responsável, em diversos casos, por gerar situações indesejadas ao meio ambiente, como alterações em rios, igarapés, na fauna, na flora, no ar, no solo, dentre outros (BARRETO, 2001). Bem como de acarretar adversidades e sobrecarregar setores importantes de uma cidade ou região, principalmente nos segmentos de saúde, educação e moradia.

Um exemplo dessas alterações ocorreu na cidade de Juruti, oeste do Pará. No ano 2000, existiam 31.198 habitantes, já em 2014 o número era de 52.755 habitantes, por conta da implantação da atividade de mineração que já estava em andamento, um aumento de quase 70% no número de moradores na cidade IBGE (2014 apud COSTA e SILVA, 2015). Em Juruti, as atividades se caracterizavam, antes da chegada da mineração, pela extração de madeira, cultivos com destaque para a mandioca, sendo o comércio pouco diversificado e os trabalhos, em sua maioria, informais, Marialva (2011 apud COSTA e SILVA, 2015, p.807).

Diante do exposto, e associado ao fato da necessidade dos processos de mineração no cotidiano da sociedade em geral, é imprescindível que sejam realizadas ações por parte das entidades públicas e/ privadas, que visem mitigar os impactos das atividades mineiras. Assim sendo, a partir de uma visão responsável das empresas mineradoras e de políticas públicas eficientes, focada na recuperação do bioma e nas pessoas, é possível impactar de forma positiva as comunidades envolvidas, gerando emprego, renda, fortalecendo o comércio local,

e criando estratégias para recuperar as áreas mineradas com o menor impacto ambiental possível.

2.3 Métodos de restauração em áreas degradadas

Conforme a lei Federal N° 6.938/81, da Política Nacional do Meio Ambiente no Artigo 3º, inciso II define degradação da qualidade ambiental como a alteração adversa das características do meio ambiente. Essas alterações adversas podem ser ocasionadas pela exploração intensiva humana ou catástrofes naturais como terremotos, deslizamento de terras e incêndios florestais, tais perturbações ambientais modificam o habitat natural da fauna e flora que dependem de áreas extensas para suprir suas necessidades de sobrevivência (SANTOS, 2017).

A preocupação em se conceituar a qualidade do solo (QS), aumentou a partir da década de 1990 devido à crescente degradação da estrutura física, química e biológica de ambientes naturais pelo uso de práticas agrícolas (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009). Atualmente sabe-se que um solo de qualidade precisa contar com no mínimo três elementos básicos: a qualidade do ambiente, produtividade e o bem-estar humano (EMBRAPA, 2004).

A extração mineral tem encontrado resistência por órgãos ambientais que defendem o uso sustentável do meio ambiente (SANTOS, 2017). Com isso, a busca por planejamentos durante o processo de reparação em áreas degradadas tem sido discutida por diversos especialistas quanto a práticas mais eficientes (ARAÚJO *et al.*, 2012). Atualmente é utilizado técnicas de nucleação que tem como objetivo recuperar as taxas de ciclagem de nutrientes e as quantidades de matéria orgânica para restauração em áreas degradadas (MORAES *et al.*, 2008)

Segundo, (FILHO *et al.*, 2013), regiões de difícil acesso como a Amazônia, o uso tradicional de espécies arbóreas para recuperar áreas degradadas é encarecido devido ao meio de transporte aéreo e/ou fluvial, e que o ideal seria buscar técnicas de nucleação de baixo custo como o uso de espécies nativas e adaptadas a região. (DALPIZZOL *et al.*, 2021), acrescenta que o uso de espécies nativas apresenta alto índice de sobrevivência durante a implantação mesmo utilizando diferentes técnicas de nucleação.

A reposição do topsoil que é a camada superficial do solo até 0,20 m, mais rica em material orgânico, é uma técnica de nucleação que proporciona a recuperação e reestruturação da fertilidade do solo devido à presença e atividade de microrganismos na ciclagem de

nutrientes e no estímulo a germinação de sementes resultando na revegetação em áreas degradadas (MARCUIZZO *et al.*, 2013).

Outra técnica de restauração é a transposição de galharia (galhos, folhas e material reprodutivo), material que é gerado com a supressão vegetal, a galharia deve ser colocada desarranjada na área formando uma mistura do material vegetal, esse material vai proporcionar umidade e abrigo para a fauna e flora local se desenvolver (SOARES, 2010).

O plantio de mudas de espécies nativas, normalmente produzidas em parceria com moradores de comunidades vizinhas também é uma boa alternativa para reflorestar áreas degradadas, as mudas podem ser dispostas com espaçamentos definidos ou ao acaso priorizando espécies pioneiras (SOARES, 2010). A utilização conjunta dessas técnicas de nucleação acelera os processos de restauração ambiental de áreas degradadas e propicia o convívio de animais e o desenvolvimento da vegetação de espécies nativas (LEMOS *et al.*, 2014).

2.4 Importância da Matéria Orgânica no solo

A matéria orgânica do solo (MOS) está ligada aos processos químicos, físicos e microbiológicos, por tanto é um elemento indispensável para a qualidade do solo (ROSCOE e MACHADO, 2002). Além disso, a matéria orgânica possui função de cobertura do solo, protegendo contra os raios solares e impactos diretos causados pela chuva e com isso reduzindo a ocorrência de processos erosivos além de disponibilizar nutrientes as plantas (DUARTE, 2011).

O solo é um dos recursos naturais de maior importância para a sobrevivência do homem, (REIS *et al.*, 2014) ao se questionar sobre o conflito homem versus natureza, disse que o desenvolvimento da espécie humana causou mudanças drásticas na natureza e em sua estrutura. Essa degradação dos solos aumenta os prejuízos socioeconômicos para a geração atual e traz riscos maiores para as gerações futuras (EMBRAPA, 2010).

Devido à preocupação com a sustentabilidade ambiental, surgiram pesquisas de restauração ecológica, ou seja, processos de recuperação de áreas degradadas (REIS *et al.*, 2014), é evidente a importância da matéria orgânica do solo, tanto que, DUARTE (2011), aponta para os diversos trabalhos de pesquisas sobre os benefícios dos resíduos orgânicos e práticas que promovam sua restauração no solo como em Sistemas agroflorestais (SAFs), que naturalmente fornecem material vegetal através de suas folhas, frutos, flores e galhos, a

liberação de exsudação pelas raízes e morte dessas, também participam para adições orgânicas ao solo.

A EMBRAPA (2004) reforça sobre a matéria orgânica ao dizer que, o solo sem a sua presença seria apenas uma mistura de superfície terrestre estéril de minerais intemperizados, pois, os compostos orgânicos são reservatórios de carbono, nutrientes e energia e na sua ausência ocorre a emissão de dióxido de carbono do solo para a atmosfera. A matéria orgânica atua na formação de agregados estáveis que são importantes para a estrutura do solo e aumento da biota edáfica, sendo que o material orgânico é mineralizado pelos microrganismos presentes no solo (LUCENA *et al.*, 2019).

Em regiões tropicais a matéria orgânica geralmente é baixa em solos muito intemperizados e dependem da produção e reposição da taxa primária que são rapidamente decompostas chegando ao estágio de substâncias húmicas que é a etapa final da evolução dos compostos de carbono no solo (CANELLAS *et al.*, 1999). Pelo fato de o carbono representar 58% da matéria orgânica do solo, é possível fazer a determinação dos teores de carbono para se estimar as quantidades da fração orgânica no solo (NANZER *et al.*, 2019).

Enquanto o homem pode controlar as taxas de entrada da matéria orgânica no solo, na natureza os processos envolvidos no controle da ciclagem de nutriente são mais complexos, pois envolve a interação de fatores climáticos, ação de microrganismos na decomposição do composto orgânico e a própria composição química do material (COSTA, 2013).

3. CAPÍTULO 1

FRAÇÕES DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM ÁREA DE MINERAÇÃO DE BAUXITA COM DIFERENTES ESTÁDIOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM JURUTI, PA

Artigo publicado na revista Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Florestal 2 – Editora Atena. DOI: 10.22533/at.ed.582220802. Com aceite em 01/02/2022. Disponível pelo link: www.atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/colecao-desafios-das-engenharias-engenharia-florestal-2.

CAPÍTULO 8

DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM DIFERENTES ESTÁDIOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM ÁREAS DE MINERAÇÃO DE BAUXITA NO BAIXO AMAZONAS

Data de aceite: 01/02/2022

Jonathan Correa Vieira

Discente do curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Universitário de Juruti da Universidade Federal do Oeste do Pará (CJUR/UFOPA)
<https://orcid.org/0000-0001-8997-6277>

Yves Caroline Andrade dos Santos

Discente do curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Universitário de Juruti da Universidade Federal do Oeste do Pará (CJUR/UFOPA)

Dameres Azevedo da Silva

Discente do curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Universitário de Juruti da Universidade Federal do Oeste do Pará (CJUR/UFOPA)

Rebeca Laís Cancio dos Santos

Discente do curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Universitário de Juruti da Universidade Federal do Oeste do Pará (CJUR/UFOPA)
<https://orcid.org/0000-0002-5972-5810>

Frances Marques Moreira

Discente do curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Universitário de Juruti da Universidade Federal do Oeste do Pará (CJUR/UFOPA)
<https://orcid.org/0000-0003-2104-9981>

Inês Ariane de Paiva Câncio

Discente do curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Universitário de Juruti da Universidade Federal do Oeste do Pará (CJUR/UFOPA)
<https://orcid.org/0000-0002-8675-158X>

Ingrid Souza de Andrade

Discente do curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Universitário de Juruti da Universidade Federal do Oeste do Pará (CJUR/UFOPA)
<https://orcid.org/0000-0001-7925-5820>

Andreysse Castro Vieira

Discente do curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Universitário de Juruti da Universidade Federal do Oeste do Pará (CJUR/UFOPA)
<https://orcid.org/0000-0002-8311-8084>

Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto

Doutorando do programa de Agronomia-Ciência do solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)
<https://orcid.org/0000-0002-4369-4511>

Marcos Gervasio Pereira

Docente do curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)
<http://orcid.org/0000-0002-1402-3612>

Dayse Drielly Souza Santana Vieira

Docente do curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Universitário de Juruti da Universidade Federal do Oeste do Pará (CJUR/UFOPA)
<https://orcid.org/0000-0002-2810-4317>

Celeste Queiroz Rossi

Docente do curso de Bacharelado em Agronomia do Campus Universitário de Juruti da Universidade Federal do Oeste do Pará (CJUR/UFOPA)
<https://orcid.org/0000-0002-9068-4834>

RESUMO: O objetivo do estudo foi quantificar os teores de carbono orgânico total e suas respectivas frações granulométricas e químicas em áreas sob diferentes tempos e métodos de restauração florestal após mineração de bauxita no Baixo Amazonas. O estudo foi realizado no município de Juruti (PA), localizado na Mesorregião do Baixo Amazonas. Foram selecionadas três áreas

com diferentes tempos de restauração florestal e uma área de referência, a saber: A1: área reflorestada em 2018; A2: área reflorestada em 2015; A3: área reflorestada em 2012; e A4: área de Floresta. Em cada área amostral foram realizadas coletas de amostras para avaliação das propriedades químicas dos solos. As amostras deformadas foram coletadas nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 m mediante a abertura de quatro mini trincheiras em cada área. Em cada mini trincheira foram retiradas três amostras simples por profundidades. As amostras foram homogeneizadas para formar uma amostra composta. As amostras foram secas ao ar e destorroadas, e passadas por peneiras de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar. Neste material foram quantificados os teores de carbono orgânico total (COT), particulado (COP) e associado aos minerais (COam). Também foram quantificados os teores de carbono das frações ácido fúlvico (C-FAF), ácido húmico (C-FAH) e humina (C-HUM). Na profundidade de 0-0,05 m, na área A4 (floresta) foram quantificados os maiores teores de COT, COam, C-FAH e C-HUM; já na profundidade de 0,10-0,20 m, na área A1 (restauração mais recente) foram observados os maiores teores de COT, COP, COam, C-FAF, C-FAH e C-HUM. Concluiu-se que o processo de restauração florestal nas áreas mineradas, utilizando o método de nucleação, foi capaz de manter e/ou elevar os teores de carbono orgânico total e de suas respectivas frações orgânicas físicas e químicas. **PALAVRAS-CHAVE:** Degradação do solo; Amazônia; Nucleação.

DYNAMICS OF ORGANIC CARBON SOIL IN DIFFERENT STAGES OF FOREST RESTORATION IN BAUXITE MINING AREAS IN THE LOWER AMAZON

ABSTRACT: The objective of the study was to quantify the contents of total organic carbon and their respective granulometric and chemical fractions in areas under different times and methods of forest restoration after bauxite mining in the Lower Amazon. The study was carried out in the municipality of Juruti (PA), located in the Lower Amazon Mesoregion. Three areas with different forest restoration times and a reference area were selected, namely: A1: area reforested in 2018; A2: area reforested in 2015; A3: area reforested in 2012; and A4: Forest area (A4). In each sample area, soil was collected to verify the chemical properties of the soils. Undisturbed soil samples were collected at depths of 0-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20 m by opening four mini trenches in each area. In each mini trench, three simple samples were taken by depth. The samples were homogenized to form a composite sample. The samples were air-dried and crushed, and passed through 2 mm sieves to obtain air-dried fine earth. In this material, total organic carbon (TOC), particulate (COP) and associated with minerals (COam) contents were quantified. The carbon contents of the fulvic acid (C-FAF), humic acid (C-FAH) and humin (C-HUM) fractions were also quantified. At a depth of 0-0.05 m, in area A4 (forest) the highest levels of TOC, COam, C-FAH and C-HUM were quantified; at a depth of 0.10-0.20 m, in area A1 (most recent restoration) the highest levels of TOC, COP, COam, C-FAF, C-FAH and C-HUM were observed. It was concluded that the forest restoration process in the mined areas, using the nucleation method, was able to maintain and/or increase the levels of total organic carbon and their respective physical and chemical organic fractions.

KEYWORDS: Soil degradation; Amazon; Nucleation.

1 | INTRODUÇÃO

A Amazônia tem destaque por sua riqueza em espécies e recursos naturais, exibindo grande biodiversidade, riqueza mineral e florestal abrigando cerca de 30 % das espécies encontradas na América do Sul (Ministério do Meio Ambiente, 2017). É constituída originalmente por uma floresta tropical, com árvores de médio e grande porte e estabelecida geralmente em solos de baixa fertilidade natural, onde os nutrientes são originados da decomposição de folhas, frutos, ramos e animais mortos. Essa ciclagem de nutrientes é que mantém o ecossistema equilibrado e favorecem um bom desenvolvimento da fauna e flora (Margulis, 2003).

Na Amazônia, vários levantamentos foram realizados sobre os depósitos de bauxita. Dentre eles, destacam-se os depósitos de Carajás, os de Paragominas (Kotschoubey, 2005) e os de Rondon do Pará (Oliveira et al., 2016). Destacam-se ainda os depósitos de rochas siliciclásticas da Formação Alter do Chão os trabalhos de Boulangé & Carvalho (1997) e Antoniassi (2010), os dois em Porto Trombetas e os de Cruz (2011) e Costa et al., (2014) em Juruti.

Uma série de consequências ao meio ambiente é promovida pela extração de recursos minerais em virtude do elevado poder de degradação que essa atividade pode promover. Levando a redução da vegetação nativa, da fauna e da camada mais fértil do solo (Mendes Filho, 2004). Nesse contexto, tem-se por exemplo a extração da bauxita, que é uma rocha constituída de minerais hidratados de alumínio utilizados nas indústrias químicas, de abrasivos e de cimento (Barros et al., 2018). Contudo, ainda são poucos os estudos que avaliam os impactos que ocorrem sobre o meio ambiente em função dos processos de extração mineral.

Escolher espécies vegetais pioneiras e resistentes é fundamental para o início do processo de restauração de ambientes minerados (Rios et al., 2017). A revegetação destas áreas depende do restabelecimento de uma microbiota ativa e de mudanças físicas e químicas no meio, propiciando condições necessárias para a reabilitação do solo e consequente retomada das espécies vegetais nativas (Trindade et al., 2000). A partir do exposto, o objetivo do estudo foi quantificar os teores de carbono orgânico total e suas respectivas frações físicas e químicas em áreas sob diferentes tempos e métodos de restauração florestal após mineração de Bauxita no Baixo Amazonas.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção das Áreas

O estudo foi realizado no município de Juruti (PA), localizado na Mesorregião do Baixo Amazonas. As amostras foram coletadas em novembro de 2019. Foram selecionadas 3 áreas com diferentes tempos de restauração florestal, a saber: A1: área reflorestada em

2018; A2: área reflorestada em 2015; e A3: área reflorestada em 2012. Além dessas áreas, foi utilizada uma área de Floresta (A4) como representativa das características avaliadas antes do processo de mineração (controle).

2.2 Histórico das Áreas

Após a supressão vegetal, o *topsoil*, que é a camada delimitada até 0,20 m de profundidade e que contém o maior conteúdo de material orgânico, é retirado e depositado em outra área dentro da mina. Após esse processo, é retirado a camada de estéril, que é a camada predominantemente mineral com maior concentração de argila, posteriormente, a área está preparada para que possa ser retirada a bauxita. Ao final do processo de mineração da bauxita, o estéril retirado é devolvido e a área está disponível para a fase de restauração vegetal. No ano de 2012, era utilizado na técnica de nucleação, apenas os montes com *topsoil* + plantio de mudas. Nos anos de 2013 e 2014 passou-se a utilizar o material vegetal oriundo da supressão da floresta + plantio de mudas. A partir do ano de 2015 foi utilizado o método de nucleação utilizando o *topsoil* + o material vegetal oriundo da supressão da floresta + plantio de mudas para a restauração das áreas. Parte das mudas utilizadas neste processo são produzidas em comunidades no entorno da área de extração da bauxita, e outra parte oriundas da atividade de resgate nas áreas onde serão suprimidas.

2.3 Coleta e Preparo de Solo

Em cada área selecionada foi realizada a coleta amostras de terra para avaliação das propriedades químicas. As amostras indeformadas foram coletadas nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 m mediante a abertura de quatro mini trincheiras em cada área. Em cada mini trincheira foram retiradas três amostras simples por profundidades. As amostras foram homogeneizadas para formar uma amostra composta. As amostras foram secas ao ar e destorroadas, e passadas por peneiras de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), e foram encaminhadas para a realização das análises.

2.4 Determinação dos teores de Carbono Orgânico Total

O carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação úmida com dicromato de potássio com concentração ($0,167 \text{ mol L}^{-1}$) e titulação com sulfato ferroso amoniacal ($0,20 \text{ mol L}^{-1}$), segundo a metodologia proposta por Yeomans & Bremner (1988).

2.5 Fracionamento Granulométrico da Matéria Orgânica do Solo

Para o fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo, 20 g de TFSA e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}) foi agitado durante 15 horas em agitador horizontal (Cambardella & Elliott, 1992). A seguir, a suspensão foi passada em peneira de 53 μm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste

no carbono orgânico particulado (COP) associado à fração areia, foi seco em estufa a 60 °C, quantificado em relação a sua massa, macerado em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de COT segundo Yeomans & Bremner (1988). O material que passou pela peneira de 53 µm, que consiste no carbono orgânico associado aos minerais (COAM) das frações silte e argila, foi obtido por diferença entre o COT e COP.

2.6 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica do Solo

As substâncias húmicas foram separadas em três frações: fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM), sendo utilizada a técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas conforme técnica adaptada e apresentada por Benites et al. (2003). Para tal, foi pesado uma massa de TFSA igual a 1,0 g, submetendo ao contato com 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ por 24 horas.

A separação entre o extrato alcalino (EA = C-FAF + C-FAH) e o resíduo (CHUM) foi feita por centrifugação a 5000 rpm por 20 minutos. Seguiu-se mais uma lavagem com a mesma solução anterior, reunindo-se o extrato com o anteriormente obtido, resultando em volume final de 40 mL. O resíduo foi retirado dos tubos da centrífuga, acondicionados em placa de Petri e seco a 65 °C (até atingir massa constante). O pH do EA foi ajustado a 1,0 (± 0,1) com H₂SO₄ 20%, seguido de decantação por 18 horas. O precipitado (C-FAH) foi separado da fração solúvel (C-FAF) por filtração e ambos os volumes aferidos a 50 mL, com água destilada.

A quantificação do carbono orgânico nas frações C-FAF e C-FAH foi feita usando-se alíquotas de 5,0 mL de extrato, 1,0 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L⁻¹ e 5,0 mL de H₂SO₄ concentrado, em bloco digestor a 150 °C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L⁻¹. No resíduo seco em estufa, foi determinado o C-HUM, adicionando-se 5,0 mL de dicromato de potássio 0,1667 mol L⁻¹ e 10 mL de H₂SO₄ concentrado, em bloco digestor a 150 °C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹ e indicador ferroin (Yeomans & Bremner, 1988).

2.7 Análises estatísticas

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Bartlett, respectivamente. Posteriormente, foi analisado como delineamento inteiramente casualizados. Os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, comparados entre si pelo teste Tukey 5%.

3.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Carbono Orgânico Total

Os teores de carbono orgânico total (COT) são apresentados na Figura 1. Os valores quantificados variaram de 15,95 a 38,60 g kg⁻¹. Sendo observadas poucas diferenças entre as áreas avaliadas, exceto para a área A1 (ambiente reflorestado em 2018). As atividades empregadas à recuperação ambiental de áreas mineradas devem, inicialmente, focar o fortalecimento do sistema edáfico, através de técnicas que melhorem a qualidade física (Corrêa & Bento, 2010; Barros et al., 2018), química e biológica do solo.

Na profundidade de 0-0,05 m, foram observados os maiores teores de COT na área A4 (controle) em comparação as demais. Os resultados de COT verificados em superfície na área de floresta, podem estar relacionados com a maior diversidade de espécies vegetais em um ambiente mais equilibrado e complexo, influenciando em um maior e variado aporte de material orgânico, e proporcionando maior estabilização da matéria orgânica do solo (MOS) sob a superfície do terreno quando comparado à ambientes antropizados (como por exemplo, áreas mineradas em processo de recuperação).

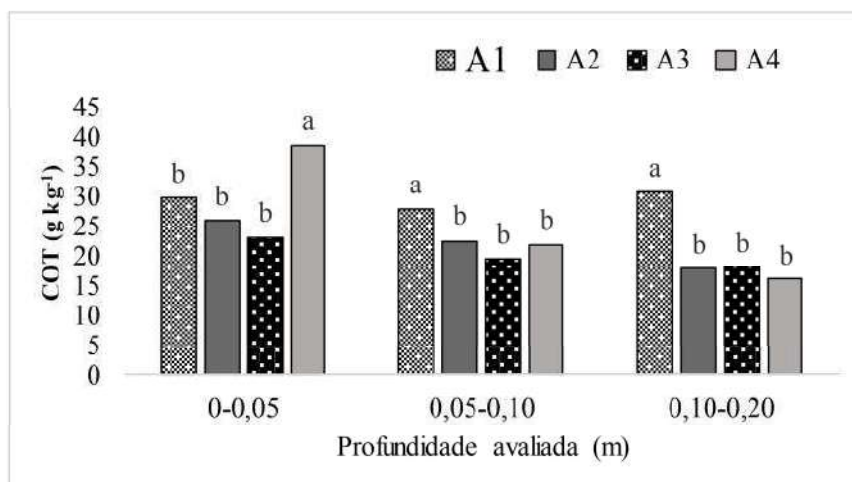


Figura 1. Carbono orgânico total (COT) nas áreas com diferentes tempos de restauração florestal, após mineração de Bauxita no Município de Juruti-PA.

Médias seguidas de mesma letra em cada profundidade não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A1: reflorestada em 2018; A2: reflorestada em 2015; A3: reflorestada em 2012; e A4: Floresta.

Nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, os teores mais elevados de COT foram verificados na área A1, superando tanto os teores das áreas A2 (reflorestada em 2015) e A3 (reflorestada em 2012), quanto da área de floresta (Figura 1). Ao final do processo de mineração da bauxita, tem-se a devolução do *topsoil* retirado e inicia-se então a fase de restauração vegetal do ambiente, que na área A1 teve início em 2018 sob novo método

de nucleação (*topsoil* + galhada + plantio de mudas) com conjunto de práticas diferentes às empregadas nas áreas A2 e A3. Os resultados de COT verificados em A1 sugerem que após aproximadamente um ano de revegetação sob novo método de nucleação, os processos de recuperação da área minerada estão sendo favorecidos nesse ambiente, propiciando à manutenção e/ou aumento dos teores de matéria orgânica, principalmente em profundida

Vale destacar, que reduções nos teores de COT na superfície do solo também podem ser verificadas, podendo ser atribuídas à remoção da camada fértil do solo e ao seu armazenamento em pilhas para ser utilizado posteriormente na restauração das áreas. Durante esse armazenamento, sem aporte de COT, pode ocorrer oxidação da matéria orgânica remanescente no solo (Reis et al., 2014). Segundo Reis et al. (2014), que avaliaram a qualidade estrutural de solos construídos após atividades de mineração no município de Candiota (RS) foram encontrados menores valores carbono no solo após a recuperação.

3.2 Carbono Orgânico Particulado e Associado aos Minerais

Na Tabela 1 são apresentados os dados de carbono orgânico das frações granulométricas da MOS. As maiores quantidades de carbono foram verificadas na fração associada aos minerais (COam) em todas as áreas avaliadas, com teores variando de 15,83 a 37,75 g kg⁻¹. Enquanto os teores observados para a fração particulada (COp) oscilaram de 0,11 a 0,86 g kg⁻¹.

Sistemas avaliados	Profundidade (m)		
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
COp (g kg⁻¹)			
A1	0,60 a	0,81 a	0,51 a
A2	0,61 a	0,57 ab	0,45 a
A3	0,67 a	0,38 ab	0,27 ab
A4	0,86 a	0,22 b	0,11 b
CV%	24,66	45,28	42,24
COam (g kg⁻¹)			
A1	29,08 b	27,04 a	30,15 a
A2	25,30 b	21,97 ab	17,36 b
A3	22,48 b	19,15 b	17,79 b
A4	37,75 a	21,60 ab	15,83 b

CV%	12,48	14,14	11,24
-----	-------	-------	-------

Tabela 1. Carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (Coam) nas áreas com diferentes tempos de restauração florestal, após mineração de bauxita no Baixo Amazonas.

Médias seguidas de mesma letra em cada profundidade (coluna) não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A1: reflorestada em 2018; A2: reflorestada em 2015; A3: reflorestada em 2012 e A4: Floresta.

Para o COp, não foram verificadas diferenças entre as áreas na profundidade de 0-0,05 m. Na mesma profundidade, para o COam, os maiores teores foram observados na área A4. Evidenciando a presença de carbono em frações mais recalcitrantes da MOS, em função, possivelmente das características inerentes à área de floresta já discutidas para o atributo COT. Os resultados dos atributos COT (Figura 1) e COam (Tabela 1) na presente área apresentaram padrão de similaridade.

Nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, os maiores teores de COp foram quantificados na área A1, seguida pelas áreas A2 e A3; e para COam os maiores teores foram verificados na área A1 (Tabela 1). Os resultados de COp e COam, corroboram aos dados de COT (Figura 1) na área sob restauração florestal mais recente. O COp pode ser considerado um bom indicador de qualidade do solo em sistemas de manejos recentes, nos quais as alterações no COT do solo ainda não tenham sido de grande magnitude (Conceição et al., 2005; Nicoloso, 2005). Já o COam nem sempre funciona como um bom indicador na mensuração da qualidade edáfica, uma vez que alterações nos teores desse compartimento da MOS demoram muitos anos para serem observadas (Carmo et al., 2012), em virtude do elevado grau de estabilidade dessa fração física da MOS.

Vale ressaltar, que as frações mais lábeis da MOS são fundamentais para a ciclagem de carbono entre os compartimentos e de nutrientes em curto espaço de tempo, além da sua notável contribuição para a formação e estabilização dos agregados do solo (Santos et al., 2013). Os resultados de COp na área A1, indicam que as práticas empregadas na restauração da área minerada após um ano estão influenciando positivamente na preservação e/ou acúmulo de frações lábeis da MOS em profundidade quando comparado ao ambiente mais estável e equilibrado (floresta). Essas frações orgânicas são essenciais na regulação e manutenção de diversos processos no sistema edáfico.

3.3 Carbono Orgânico das Substâncias Húmicas

Na Tabela 2 são apresentados os dados de carbono orgânico das substâncias húmicas da MOS. Os maiores teores de carbono foram quantificados na fração humina (C-HUM) em todas as áreas avaliadas, variando de 9,80 a 31,11 g kg⁻¹. Enquanto os teores verificados para as frações ácido fúlvico (C-FAF) e ácido húmico (C-FAH) oscilaram de 3,19 a 5,96 g kg⁻¹ para C-FAF e 1,37 a 5,62 g kg⁻¹ para C-FAH.

Sistemas avaliados	Profundidade (m)		
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20
C-HUM (g kg⁻¹)			
A1	21,65 ab	18,32 a	21,86 a
A2	19,29 ab	16,22 a	14,11 ab
A3	15,35 b	13,14 a	12,75 b
A4	31,11 a	14,59 a	9,80 b
CV%	26,93	31,15	27,43
C-FAF (g kg⁻¹)			
A1	4,96 a	4,59 a	5,04 a
A2	4,95 a	4,65 a	3,19 b
A3	4,77 a	3,73 a	3,33 ab
A4	5,96 a	4,22 a	3,73 ab
CV%	15,92	20,96	22,45
C-FAH (g kg⁻¹)			
A1	3,52 ab	2,99 a	3,86 a
A2	3,53 ab	4,86 a	2,98 ab
A3	3,01 b	1,92 a	1,58 b
A4	5,62 a	1,89 a	1,37 b
CV%	28,27	56,23	38,96

Tabela 2. Carbono orgânico total (COT), Carbono na fração ácido fúlvico (C-FAF), carbono na fração ácido húmico (C-FAH) e Carbono na fração humina (C-HUM) nas áreas com diferentes tempos de restauração florestal, após mineração de bauxita no Baixo Amazonas.

Médias seguidas de mesma letra em cada profundidade não diferem significativamente entre os sistemas avaliados, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A1: reflorestada em 2018; A2: reflorestada em 2015; A3: reflorestada em 2012 e A4: Floresta.

Para a fração C-FAF, foram observadas diferenças nos teores de carbono somente na profundidade de 0,10-0,20 m, com maiores teores na área A1. A ausência de diferença significativa de C-FAF observada nas profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,10 m entre as áreas pode estar relacionada a essa fração ser muito solúvel e de maior labilidade, assim sua dinâmica de formação e decomposição é mais acelerada em relação as outras frações húmicas da MOS (Fontana et al., 2006).

Em relação as frações C-FAH e C-HUM, nas profundidades de 0-0,05 e 0,10-0,20 m quantificaram-se os teores mais elevados de carbono nas áreas A4 e A1, respectivamente. Elevadas concentrações de C-FAH podem indicar condições ambientais favoráveis a atividade biológica, aumentando a intensidade do processo de humificação, contribuindo assim para a formação de substâncias húmicas com maior grau de condensação, como os ácidos húmicos por exemplo (Stevenson, 1994).

Os dados de carbono das frações húmicas da MOS apresentaram padrão de similaridade com as frações físicas da MOS e COT no que diz respeito as áreas e

profundidades avaliadas. Em síntese, na profundidade de 0-0,05 m, na área de floresta foram quantificados os maiores teores de COT, CO_{am}, C-FAH e C-HUM; já na profundidade de 0,10-0,20 m. na área sob restauração mais recente foram observados os maiores teores de COT, CO_p, CO_{am}, C-FAF, C-FAH e C-HUM (Tabela 1 e Figuras 1 e 2). Tais resultados sugerem que as formas e práticas de uso e manejo do solo dessas áreas (naturais e mineradas em recuperação) estão influenciando diretamente na compartimentalização do carbono orgânico. Tornando imprescindível o monitoramento e a avaliação dos impactos pré e pós mineração sobre a qualidade desses ambientes ao longo do tempo.

A revegetação do solo sobre áreas mineradas é uma das medidas mitigadoras mais comuns, utilizada no contexto da recuperação ambiental (Corrêa & Bento, 2010; Barros et al., 2018). Estas ações tem por finalidade tornar a área minerada capaz de suportar um novo uso, garantindo a estabilidade física, química e biológica do ambiente, ou a reconstrução de um ecossistema autossustentável (Sánchez, 2011; Barros et al., 2018).

4 | CONCLUSÃO

O processo de restauração florestal nas áreas mineradas, utilizando o método de nucleação, foi capaz de manter e/ou elevar os teores de carbono orgânico total e de suas respectivas frações orgânicas físicas e químicas.

Após pouco mais de um ano de revegetação de área minerada, os níveis de matéria orgânica do solo encontraram-se próximos ou acima dos verificados à área de referência, principalmente quando avaliados em profundidade.

REFERÊNCIAS

ANTONIASSI J.L. **A Difração de Raios X com o Método de Rietveld Aplicada à Bauxita de Porto Trombetas, PA.** MS Dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, 111 p. 2010.

BARROS, D. A.; COELHO JUNIOR, M. G.; OLIVEIRA, A. L.; SILVA NETO, E. C. Matéria orgânica e agregação do solo em áreas sobre influência da mineração de bauxita na região do planalto de Poços de Caldas, MG. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 14, n. 2, p. 160-167, 2018.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 7p, 2003.

BOULANGÉ C., CARVALHO A. The Bauxite of Porto Trombetas. In: Carvalho A., Boulangé B., Melfi A.J., Lucas Y. (Org.). **Brazilian Bauxites.** São Paulo/Paris, USP/FAPESP/ORSTOM, p. 55-72. 1997.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.56, p.777-783, 1992.

CARMO, F. F.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 420-431, 2012.

CONCEIÇÃO P. C.; AMADO T. J. C.; MIELNICZUK J. & SPAGNOLLO E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 777-788, 2005.

CORRÊA, R. S.; BENTO, M. A. B. Qualidade do substrato minerado de uma área de empréstimo revegetada no DF. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1435-1443, 2010.

COSTA M.L., CRUZ G.S., ALMEIDA A.D.F., POELLMANN H. On the geology, mineralogy and geochemistry of the bauxite-bearing regolith in the lower Amazon basin: Evidence of genetic relationships. *Journal of Geochemical Exploration*, 146: 58-74. 2014.

Cruz G.S. Bauxita, Horizonte Nodular e Cobertura Argilosa da Região de Paragominas e Juruti, Estado do Pará. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Pará, 90 p. 2011.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 5, p. 847-853, 2006.

KOTSCHOUBEY B., TUCKENBRODT W., CALAF J.M.C. Evolução Geológica da Porção Meridional da Província Bauxitífera de Paragominas durante o Neógeno/Pleistoceno (Noroeste da Bacia do Grajaú, Nordeste do Pará e Extremo Oeste do Maranhão). *Revista Brasileira de Geociências*, 35(2):263-272. 2005.

MARGULIS, S. Causas do desmatamento da Amazônia Brasileira. (Banco Mundial - Trabalho em andamento para discussão pública) Brasília: Estação Gráfica; 2003.

Mendes Filho PF. 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.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Amazônia. MMA, Brasília, 2017. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/biomas/amazonia> >. Acesso em: 11/09/2018.

NICOLOSO, R.S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 150f. (Dissertação de Mestrado).

OLIVEIRA, S.B., DA COSTA, M.L., DOS PRAZERES FILHO, H.J. The lateritic bauxite deposit of Rondon do Pará: A new giant deposit in the Amazon Region, Northern Brazil. *Economic Geology* 111, 1277-1290. 2016.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A. Tensile strength of aggregates and compressibility of a soil built up with cover crops in a coal mining area in Candiota, RS, Brazil. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, 2014, v.38, n. 2, p. 669-678.

RIOS, C.O., SOUZA, B.C., SIQUEIRA-SILVA, A.I., PEREIRA, E.G. Assessment of iron toxicity in tropical grasses with potential for revegetation of mined areas. *Polish Journal of Environmental Studies* 26, 1643-1649. 2017.

SANTOS, D. C.; FARIAS, M. O.; LIMA, C. L. R.; KUNDE, R. J.; CLENIO NAILTO PILLON, C. N.; FLORES, C. A. Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. *Ciência Rural*, v. 43, p. 838-844, 2013.

STEVENSON, F. J. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2. ed. New York: John Wiley e Sons, 1994. 496p.

TRINDADE, A.V., GRAZZIOTTI, P.H., TÓTOLA, M.R. Utilização de características microbiológicas na avaliação da degradação ou recuperação de uma área sob mineração de ferro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 24, 683-688. 2000.

YOEMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. v.19. p.1467-1476. 1988.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas variáveis avaliadas no presente estudo, foi observado que o método de nucleação, utilizado para restauração florestal em áreas mineradas, apresentou manutenção ou elevação dos teores de carbono orgânico total e de suas respectivas frações orgânicas, físicas e químicas. Além disso, em áreas com pouco mais de um ano do método implantado, os níveis de matéria orgânica do solo observados estavam próximos ou acima dos verificados na área de referência, principalmente quando avaliados em profundidade.

Tais resultados sugerem que o método de nucleação apresenta resultados satisfatórios, quanto aos teores de carbono orgânico e suas respectivas frações orgânicas, físicas e químicas, quando comparados à área de referência.

REFERÊNCIAS

- A Mineração faz parte do nosso dia a dia.** www.vale.com.br. Disponível em: <https://www.vale.com/brasil>. Acesso em: 01 de maio de 2022.
- ANTONIASSI J.L. **A Difração de Raios X com o Método de Rietveld Aplicada à Bauxita de Porto Trombetas, PA.** MS Dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, 111 p. 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-23112010-090249/en.php>. Acesso em 30 de abril de 2022.
- ARAÚJO, E. A. de. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206, 2012. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/1658>. Acesso em 29 de abril de 2022.
- BARBOSA, J. M. Recuperação de áreas degradadas de mata ciliar a partir de sementes. São Paulo, 1992. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, p. 702-705. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/iflorestal/ifref/RIF4-3/RIF4-3_702-705.pdf. Acesso em 25 de abril de 2022.
- BARRETO, M. L. **Ensaio sobre a sustentabilidade da mineração no Brasil.** CETEM – Centro de tecnologia mineral, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/691>. Acesso em 20 de abril de 2022.
- BARROS, D. A.; GUIMARÃES, J. C. C.; PEREIRA, J. A. A.; BORGES, L. A. C.; SILVA, R. A.; PEREIRA, A. A. S. Characterization of the bauxite mining of the Poços de Caldas alkaline massif and its socio-environmental impacts. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 65, n. 1, p. 127-133, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/kczbQjcZ8Sft9DnR9XryrmQ/?lang=en>. Acesso em 15 de abril de 2022.
- BOULANGÉ C., CARVALHO A. **The Bauxite of Porto Trombetas.** In: Carvalho A., Boulangé B., Melfi A.J., Lucas Y. (Org.). **Brazilian Bauxites.** São Paulo/Paris, USP/FAPESP/ORSTOM, p. 55-72. 1997. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1225/1/MONOGRAFIA_TipologiaCoura%C3%A7asMorro.pdf. Acesso em 28 de abril de 2022.
- CANELLAS, L. P. et al. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p.133-143, jan. 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/26350038_Fracoes_da_materia_organica_em_seis_solos_de_uma_toposseguencia_no_Estado_do_Rio_de_Janeiro. Acesso em 28 de abril de 2022.
- CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque, FERREIRA, Nelson Jesus. Editora Oficina de textos, 1 Ed.. **Clima das regiões brasileiras e variabilidade climática, 2021.** Disponível em:

https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/ofitexto.arquivos/degustacao/clima-das-regioes-brasileira_deg.pdf. Acesso em 14 de abril de 2022.

COSTA M.L., CRUZ G.S., ALMEIDA A.D.F., POELLMANN H. **On the geology, mineralogy and geochemistry of the bauxite-bearing regolith in the lower Amazon basin**: Evidence of genetic relationships. **Journal of Geochemical Exploration**, **146**: 58-74. 2014. Disponível em: https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/6965735. Acesso em 30 de abril de 2022.

COSTA, Elaine M. da Silva, HELANE. F. Ribeiro, PAULA. R. de. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer** – Goiânia-GO, v.9, n.17; p. 1842. 2013. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/materia%20organica.pdf>. Acesso em 10 de novembro de 2022.

COSTA, Silva. **Exploração da bauxita e impactos no município de Juruti (PA). A diversidade da geografia brasileira: escalas e dimensões da análise e da ação**. Outubro, 2015. Disponível em: <http://www.enanpege.ggf.br/2015/anais/arquivos/3/80.pdf>. Acesso em 11 de novembro de 2022.

CRUZ G.S. **Bauxita, Horizonte Nodular e Cobertura Argilosa da Região de Paragominas e Juruti, Estado do Pará**. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Pará, 90 p. 2011. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPA_12f9d9c88bff89efb9d21d0874629ab0. Acesso em 12 de novembro de 2022.

CTFB. **Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil**. Disponível em: <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/2>. Acesso em 28 de abril de 2022.

DALPIZZOL. J. et al. **Avaliação de técnicas nucleadoras em uma área de preservação permanente no planalto serrano**. Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV-UDESC). 2021. Disponível em: <https://www.escavador.com/sobre/3110949/maria-raquel-kanieski>. Acesso em 10 de novembro de 2022.

DUARTE, Edivânia. M. **Árvores em sistemas agroflorestais: ciclagem de nutrientes e formação da matéria orgânica do solo**. Viçosa-MG. 2011. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/1630/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em 15 de novembro de 2022.

EMBRAPA. **Estudo de Variáveis de Solo, Vegetação e Condicionamento de Amostras de Solo Sobre a Biomassa Microbiana do Solo no Estado do Rio de Janeiro**. Documento 90, Embrapa. Novembro, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/624352>. Acesso em 20 de novembro de 2022.

EMBRAPA. **Práticas de Conservação do solo e Recuperação de Áreas Degradadas.** Documento 90. Dezembro, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/498802/1/doc90.pdf>. Acesso em 20 de abril de 2022.

Flora do Brasil 2020. BFG (The Brazil Flora Group) 2021. **Flora do Brasil 2020.** 1-28 pp. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.jbrj.gov.br/jspui/bitstream/doc/118/5/Flora%202020%20digital.pdf> Acesso em 29 de abril de 2022. Ebook.

FILHO, N. L., SANTOS, G. R., FERREIRA, R. L. Comparando técnicas de nucleação utilizadas na restauração de áreas degradadas na Amazônia brasileira. **Revista Árvore.** Viçosa, v.37, p. 587, 2013. Disponível em:

<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/10987?show=full>

FREITAS, Lino de. **A importância da mineração para sociedade brasileira.** Disponível em:

<https://www.domtotal.com/noticia/1406590/2019/12/a-importancia-da-mineracao-para-a-sociedade-brasileira/> Acesso em 01 de maio de 2022.

IBF. Instituto brasileiro de florestas. **Bioma Amazônico.** Disponível em: <http://ibflorestas.org.br>. Acesso em 28 de abril de 2022.

IMAZON. Instituto do homem e do meio ambiente. **Áreas protegidas na Amazônia Brasileira: avanços e desafios.** Disponível em:

<https://imazon.org.br/areas-protegidas-na-amazonia-brasileira-avancos-e-desafios-2>. Acesso em: 02 de maio de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, (IBRAM). **Infográfico, mineração em números, 2020.** Disponível em:

<https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/06/Infografico-Mineracao-em-Numeros-2020-NOVO.pdf>. Acesso em 28 de abril de 2022.

INSTITUTO MINERE. **A importância da mineração para a economia do país.** Disponível em:

<https://institutominere.com.br>. Acesso em 01 de maio de 2022.

KOTSCHOUBEY B., TUCKENBRODT W., CALAF J.M.C. Evolução Geológica da Porção Meridional da Província Bauxitífera de Paragominas durante o Neógeno/Pleistoceno (Noroeste da Bacia do Grajaú, Nordeste do Pará e Extremo Oeste do Maranhão). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n° 2, p. 263-272. 2005. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1225/1/MONOGRAFIA_TipologiaCora%C3%A7asMorro.pdf. Acesso em 20 de novembro de 2022.

LE MOS, C. M. G. FERREIRA, G. C. **Utilização de técnicas de nucleação para recuperação de áreas degradadas pela extração de argila vermelha.** 58º Congresso Brasileiro de Cerâmica. , Bento Gonçalves-RS. Maio. 2014. Disponível em:

https://abceram.org.br/wp-content/uploads/area_associado/58/PDF/03-024.pdf. Acesso em 21 de novembro de 2022.

LÓPEZ-ORENES, A., BUESO, M. C., CONESA, H. M., CALDERÓN, A. A., FERRER, M. A. Seasonal changes in antioxidative/oxidative profile of mining and non-mining populations of Syrian beancaper as determined by soil conditions. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 575, p. 437-447. 2017. Disponível em: <https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/8492/sca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 17 de abril de 2022.

LUNENA, W. B. de. et al. **Matéria orgânica e biologia do solo materia orgánica y biología del suelo organic matter and soil biology**. IV Congresso Internacional das Ciências Agrárias, Cointer-PDVAagro. 2019. Disponível em: <https://cointer.institutoidv.org/inscricao/pdvagro/uploadsAnais2020/MAT%C3%89RIA-ORG%C3%82NICA-E-BIOLOGIA-DO-SOLO.pdf>. Acesso em 30 de novembro de 2022.

MARCUZZO, S. B. et al. **Comparação da eficácia de técnicas de nucleação para restauração de área degradada no sul do brasil**. Curitiba-PR. V. 43. Jan./mar. 2013. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/viewFile/28680/20135>. Acesso em 10 de abril de 2022.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia Brasileira**. (Banco Mundial - Trabalho em andamento para discussão pública) Brasília: Estação Gráfica; 2003. Disponível em: <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/causas-do-desmatamento-da-amazonia-brasileira.pdf>. Acesso em 05 de janeiro de 2023.

MARIALVA, D. A. **As novas dinâmicas territoriais na Amazônia: Desdobramentos da mineração de bauxita em Juruti, PA**. Dissertação de mestrado, USP. São Paulo-SP, 2011. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-27062012-154718/publico/2011_DilzaAzevedoMarialva_VRev.pdf. Acesso em 18 de novembro de 2022.

MENDES FILHO, 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. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-18112004-151027/pt-br.php>. Acesso em 14 de dezembro de 2022.

MORAES, L. F. D. de. Características do solo na restauração de áreas degradadas na reserva biológica de Poço das Antas, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 193-206, abr./jun. 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/457>. Acesso em 22 de dezembro de 2022.

MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita**, Poços de Caldas, MG. 2004. 139p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2004. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100645/moreira_pr_dr_rela.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 19 de abril de 2022.

NANZER, M. C. et al. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Cassilândia, v. 18, p. 137, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/10832>. Acesso em 10 de janeiro de 2023.

OLIVEIRA, S.B., DA COSTA, M.L., DOS PRAZERES FILHO, H.J. **The lateritic bauxite deposit of Rondon do Pará: A new giant deposit in the Amazon Region, Northern Brazil**. *Economic Geology* 111, 1277-1290. 2016. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/segweb/economicgeology/article-abstract/111/5/1277/152500/THE-LATERITIC-BAUXITE-DEPOSIT-OF-RONDON-DO-PARA-A>. Acesso em 22 de abril de 2022.

PEGG, SCOTT. **Mining and poverty reduction transferring rhetoric into reality**. *Journal of cleaner production*. v.14.p.376-387.USA.2006.
REIS, A. Nucleação: concepção biocêntrica para a restauração ecológica. **Ciências Florestal**, Santa Maria, v. 24. Abr./Jun. 2014. Disponível em: <https://cursos.unipampa.edu.br/cursos/tecnologiaemmineracao/files/2021/07/a-mineracao-na-vida-das-comunidades-aspectos-socioeconomicos-e-mudancas-nas-estruturas-de-ambientes-mineiros.pdf>. Acesso em 19 de abril de 2022.

RIOS, C.O., SOUZA, B.C., SIQUEIRA-SILVA, A.I., PEREIRA, E.G. Assessment of iron toxicity in tropical grasses with potential for revegetation of mined areas. **Polish Journal of Environmental Studies**, Olsztyn, v. 26, p. 1643-1649. 2017. Disponível em: <http://www.pjoes.com/pdf-68429-24141?filename=Assessment%20of%20Iron.pdf>. Acesso em 05 de janeiro de 2023.

ROSCOE, Renato. MACHADO, Pedro L. O. de A. **Fracionamento Físico do Solo em Estudos da Matéria Orgânica**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Agropecuária Oeste Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Dourados-MS 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/246248/1/LV20023.pdf>. Acesso em 10 de abril de 2022.

SANTOS, Jorge. A. G. **Especialização em Meio Ambiente**. Cruz das Almas-BA. UFRB. 2017. Disponível em: https://www2.ufrb.edu.br/iisecab/images/Anais_2_SECAB_2017.pdf. Acesso em 09 de abril de 2022.

SILVA, M.G.; TEIXEIRA, J.B.G.; MISI, A.; CRUZ, S.C.P.; SILVA SÁ, J.H. **Metalogênese do setor setentrional do Cráton São Francisco**. In: SILVA, M.G.; ROCHA NETO, M.B.; JOST, H.; KUYUMJIAN, R.M. (Orgs.). **Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras**. Serviço Geológico do Brasil-CPRM, Belo Horizonte, p. 93-118. 2014. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/19389?show=full>. Acesso em 03 de janeiro de 2023.

SOARES, Sílvia. M. P. **Técnicas de restauração de áreas degradadas**. Programa de pós-graduação em ecologia aplicada ao manejo e conservação dos recursos naturais. Juiz de fora-

MG. 2010. Disponível em: <https://www.erambiental.com.br/var/userfiles/arquivos69/documentos/12685/TecnicasRecuperacao.pdf>. Acesso em 30 de dezembro de 2022.

TILIO NETO, P. de. **Soberania e ingerência na Amazônia brasileira**. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisa Social, 2010. Disponível em: <http://books.scielo.org>. Acesso em: 28 de abril de 2022.

TRINDADE, A.V., GRAZZIOTTI, P.H., TÓTOLA, M.R. Utilização de características microbiológicas na avaliação da degradação ou recuperação de uma área sob mineração de ferro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 683-688. 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/vjvc4BGRjvpgDT6LSVw6vwz/?lang=pt>. Acesso em 27 de abril de 2022.

TEIXEIRA, W., TOLEDO, M.C.M., FAIRCHILD, T.R. & TAIOLI, F.2000. **Decifrando a terra**, USP, São Paulo, 557 p. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002952483>. Acesso em 25 de abril de 2022.

VEZZANI, Fabiane M.; MIELNICZUK, João. Uma visão sobre qualidade do solo. Revisão de literatura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 33, p. 743-755, 2009. Disponível em: www.preiodicosdeminas.ufmg.br/periodicos/revista-brasileira-de-ciencia-do-solorbcs/. Acesso em 22 de abril de 2022.