

RECICLAGEM AGRÍCOLA DE LODO DE PISCICULTURA DE TANQUE ESCAVADO NO RAMAL DO BANCO EM RIO PRETO DA EVA, AMAZONAS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.I-002>

Luiz Carlos da Silva (*), Francimara Souza da Costa, Bruno Fernando Faria Pereira

*Universidade Federal do Amazonas/FCA, luiz_silva@ufam.edu.br

RESUMO

A geração e reciclagem de resíduos são desafios para a humanidade. Este é o caso dos lodos de piscicultura de tanques escavados, constituídos pela soma dos sedimentos de insumos aplicados e fezes de peixes com o solo do fundo dos tanques (*pond bottom soil*). O acúmulo de lodo nos tanques pela falta de manutenção da oxigenação da água pode gerar passivo ambiental nas propriedades. Este problema foi identificado no Ramal do Banco em 2019 e, com base no que se observou, pensou-se na possibilidade de uso do lodo acumulado como condicionador do solo cultivado. Essa prática substituiria a prática sem critério de destinação final do lodo adotada na localidade. Neste contexto objetivamos com este trabalho: i) caracterizar a agricultura praticada e o uso atual de lodo de piscicultura naquela comunidade; ii) descrever métodos e resultados de ações de extensão lá realizadas bem como estabelecer recomendações de reciclagem do lodo de piscicultura de tanque escavado no cultivo de espécies de porte alto ou tutoradas no Ramal do Banco em Rio Preto da Eva, Amazonas. A agricultura praticada no Ramal do Banco é comercial e de subsistência, e contempla grande diversidade de espécies para a reciclagem do lodo de piscicultura gerado na comunidade. De acordo com os atributos analisados, o lodo de piscicultura possui qualidade física, química e biológica para reciclagem no solo agrícola. Por isso, doses e métodos para reciclagem de lodo de piscicultura nas espécies cultivadas no Ramal do Banco foram calculadas e constarão de um manual de reciclagem agrícola do material que será publicado em 2025.

PALAVRAS-CHAVE: lodo de piscicultura, reciclagem agrícola, peixes regionais, produção, Amazônia.

ABSTRACT

Waste generation and recycling are challenges for humanity. This is the case of fish farming sludge from excavated tanks, consisting of the sum of sediments from applied inputs and fish feces with soil from the bottom of the tanks (*pond bottom soil*). Accumulation of sludge in the tanks due to the lack of maintenance of water oxygenation can generate environmental liabilities on the properties. This problem was identified in Ramal do Banco in 2019 and, based on what was observed there, the possibility of using the accumulated sludge as a conditioner for cultivated soil was considered. This practice would replace the practice without technical criteria for the final disposal of sludge produced on site. In this context, we aim with this work: i) to characterize the agriculture practiced and the current use of fish farming sludge in that community; ii) to describe methods and results of extension actions carried out there, as well as to establish recommendations for recycling fish farming sludge (*pond bottom soil*) from excavated tanks in the cultivation of tall or trellised species in Ramal do Banco in Rio Preto da Eva, Amazonas. Agriculture practiced in Ramal do Banco is commercial and subsistence and includes a wide diversity of species for recycling the fish farming sludge generated in the community. According to the attributes analysed, the pond bottom soil has physical, chemical and biological quality for recycling in agricultural soil. Therefore, doses and methods for recycling this sludge for cultivated species in Ramal do Banco were calculated, which will be included in an agricultural recycling manual for the material that will be published in 2025.

KEY WORDS: pond bottom soil, agricultural recycling, regional fish, production, Amazon.

INTRODUÇÃO

A geração e reciclagem de resíduos, considerados os riscos e a periculosidade para destinação final representam desafios para a humanidade (POZZETTI; NEPOMUCENO, 2019). Os lodos de criação de peixes (*pond bottom soil or fish farming sludge*), por sua vez, são a soma dos sedimentos de insumos aplicados com o solo do fundo dos tanques (SHAFI et al., 2021) que também têm sido considerados desafios para a sustentabilidade nas propriedades produtivas. Isso é fato, principalmente, quando o manejo dos tanques não atinge o objetivo de manutenção da oxigenação do solo do fundo dos tanques coberto por sedimentos, que é condição fundamental para o cultivo de peixes (SHAFI et al., 2021; BOYD; WOOD; THUNJAI, 2002).

Problemas com a destinação inadequada de lodo de piscicultura foi identificado na comunidade do Ramal do Banco (ou, comunidade São Francisco de Assis) em 2019 e, com base em relatos de produtores sobre o potencial de aumento do número de piscicultores na localidade, foi pensada a possibilidade de uso do material como condicionador químico do solo, usado de forma paliativa e em substituição à uma prática sem critério adotada em época e que persiste até a atualidade.

Tal substituição pode ser viável porque após a manutenção dos tanques e alcançada a redução da geração de lodo, a sua incorporação como condicionador de solos por meio de procedimentos sustentáveis tem sido apontada como uma das soluções para o problema do lodo acumulado (WANG et al., 2019; MADARIAGA; MARIN, 2017). O uso agrícola do lodo de piscicultura pode, assim, contribuir com o fechamento do ciclo do fósforo (P) e nitrogênio (N) na criação de peixes (BOYD; WOOD; THUNJAI, 2002). No entanto, a despeito da alta produção do resíduo, este recurso ainda é pouco explorado, mesmo sendo utilizável como fornecedor de nutrientes às espécies cultivadas para diminuir o custo relativo de produção.

Dentre outras destinações finais, o lodo de piscicultura vem sendo explorado pela indústria de fertilizantes (MAIGUAL-ENRIQUEZA et al., 2019; HERZEL et al., 2016; HAN et al., 2015; JIANG et al., 2015; YIN; WANG, 2015; MAOZHE et al., 2013). No que se refere à reciclagem agrícola, diversos trabalhos fornecem base para a reciclagem desses lodos no solo cultivado. Estudos recentes demonstram ausência de pesticidas e materiais orgânicos perigosos e baixo teor de elementos tóxicos nesses lodos, o que o torna ambientalmente seguros (YURINA et al., 2020; MANDARIAGA; MARIN, 2017). Portanto, esse material residual é considerado adequado para a reciclagem na agricultura, o que se deve à presença de matéria orgânica e de macronutrientes vegetais como N (6-7%) e P (1,5 -2%), K, Ca, Mg e pequenas quantidades de micronutrientes (ROHOLD, 2024; LENZ et al., 2021; BROD et al 2017; SILVA et al., 2013; NEMATİ; BAKAR; ABAS, 2009). Sob o ponto de vista produtivo, várias espécies têm mostrado maiores crescimento e produção quando tratadas com esses lodos (ALVES et al., 2022; SILVA et al., 2017; THANH et al., 2023).

Este texto constitui-se um relato sobre uma investigação de resolução de problema (*A problem-Solving Investigation*) no âmbito da extensão rural universitária aplicada à Comunidade do Ramal do Banco em Rio Preto da Eva, Amazonas. Nossos objetivos com este trabalho foram delineados com base no contexto acima descrito.

OBJETIVOS

i) Caracterizar a agricultura praticada na comunidade do Ramal do Banco; ii) Realizar ações de extensão universitária para amostragem e caracterização física, química e biológica do lodo de piscicultura para fins de reciclagem nas espécies cultivadas no Ramal do Banco, e; iii) Com base nos resultados obtidos nas ações de extensão, recomendar métodos e doses de aplicação de lodo de piscicultura de tanque escavado para espécies cultivadas no Ramal do Banco em Rio Preto da Eva, Amazonas

METODOLOGIA

As atividades deste trabalho foram desenvolvidas em função do que se constatou de necessidade de extensão rural na Comunidade de Ramal do Banco, localizada à margem esquerda da Rodovia AM 010, km 126, Rio Preto da Eva (2º 41' 56" S e 59º 42' O), estado do Amazonas (Figura 1). Uma revisão da literatura foi feita via portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior/CAPES (www.periodicos.capes.gov.br/) para caracterização das espécies cultivadas em escala comercial e de subsistência naquela comunidade. Entrevista sistematizada segundo Marconi; Lakatos (2004) foi aplicada aos produtores a fim de se caracterizar o uso atual e a perspectiva de reciclagem agrícola do lodo de piscicultura praticada na localidade.

Ações de extensão foram realizadas de 2019 a 2024 na propriedade do Sr. Josué Rodrigues de Oliveira, considerada como modelo para os produtores do Ramal do Banco, pois, o manejo aplicado aos tanques é o que se busca aplicar na comunidade como um todo. Durante as ações o lodo de um tanque de criação de tambaqui (*Colossoma macropomum*) e pirarucu (*Arapaima gigas*) foi amostrado para caracterização física, química e biológica para fins de reciclagem no solo cultivado naquela localidade. A qualidade biológica do lodo foi avaliada somente na ação de 2024. Para isso, foi escolhida uma área de 0,40 ha de lâmina d'água do tanque com maior profundidade e maior acúmulo de lodo (*Pond bottom soil*). Desse local foram proporcional e aleatoriamente coletadas 7 amostras simples ha⁻¹ do lodo por arraste de balde plástico de 18 L. Buscou-se com esse procedimento simular a retirada do excesso de lodo acumulado no fundo

dos tranques pelo produtor. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas e delas tomou-se 0,15 kg de lodo para compor uma amostra representativa em todas as ações de extensão do período considerado.

Em seguida, as amostras do lodo foram embaladas em sacos plásticos de 0,50 m por 0,70 m previamente identificados e preparadas para realização das seguintes análises: i) percentagens de areia, silte e argila e umidade (%) (Embrapa, 2017) (2019, 2022 e 2023); ii) da fertilidade química (2019, 2021, 2022, 2023 e 2024): pH CaCl_2 , Al^{3+} e H^+Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), saturação por alumínio (m%), saturação por bases (V%), matéria orgânica (MO%), capacidade de troca de cátions ($\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ ($\text{cmol}_c \text{ m}^{-3}$), Ca^{2+} e Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), K^+ e P (mg dm^{-3}), Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} (mg dm^{-3}) (Silva, 2009). O B e o SO_4^{2-} (mg dm^{-3}) foram analisados segundo Raij et al. (2001); iii) teores totais de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Cu, Mn e Zn, e de As, Ba, Cd, Pb, Cr, Hg, Mo, Ni e Se (BRASIL, 2020; BRASIL, 2014), pelo método de digestão EPA- 3051 em forno de microondas e determinados por ICP-OES (2019, 2023 e 2024), e; iv) em 2024: coliformes termotolerantes (NMP g^{-1}), *Escherichia coli* nos sólidos totais ($\text{n}^\circ \text{ g}^{-1}$ de ST) e ovos viáveis de helmintos e *Salmonella* spp (NMP 10 g^{-1}) (BRASIL, 2020; BRASIL, 2014). A determinação das classes de fertilidade do *bottom pond soil* foi feita com base em Brasil et al. (2020) e Alvarez et al. (1999). As qualidades química e biológica do lodo foram determinadas com base nos padrões de Brasil (2020) e Brasil (2014).

Determinada a qualidade do lodo foram recomendados métodos e doses do lodo de piscicultura para reciclagem nas espécies cultivadas na comunidade de Ramal do Banco como alternativa ao manejo atual, sem critério e contrastante com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), que dá ênfase à redução de passivos ambientais no Brasil. O período do ciclo das culturas nas quais o lodo será reciclado foi decidido com base na idade de crescimento na qual as plantas já estão definitivamente estabelecidas em campo, ou, quando já demandam maiores quantidades de nutrientes para crescimento vegetativo e, ou, produção (planta adulta).

RESULTADOS

Segundo Carneiro (2018), e também com base nas informações coletadas por meio de questionário sistematizado (Marconi; Lakatos, 2004), os agricultores familiares da associação de produtores (ASPRONES) do Ramal do Banco cultivam a bananeira, coqueiro-anão, cupuaçuzeiro e os citros: laranjeira, tangerineira, limoeiro e os açaizeiros, além de quiabo, pimentões e pimenta de cheiro. Dentre os produtores existem os que cultivam essas espécies em escala comercial para geração de renda. Também existem as espécies cultivadas para subsistência que para as quais, segundo os participantes das ações de extensão, há interesse em expandir para áreas para cultivo comercial. São elas: os pimentões, as pimenteiras-de-cheiro verde e doce, pimenta-de-cheiro-amarela-ardida (cumari-do-Pará), pimentas murupi e malagueta, pimenteira do reino e pimenta longa, mamoeiro, maracujazeiro, café conilon, guaranazeiro, seringueira, quiabeiro, urucuzeiro, aceroleira, graviroleira, camucamuzeiro e o coqueiro. Por isso, também foram incluídas dentre as espécies para recomendação de reciclagem do lodo seco e úmido, sem prejuízo da adubação recomendada nos manuais de adubação e calagem para as espécies.

O problema de destinação final na propriedade estudada tem sido atenuado pela sua aplicação nas entrelinhas da cultura da bananeira. No entanto, a alocação aleatória de quantidades não calculadas do lodo sobre o solo, ao lado das plantas de bananeira (mãe, filha e neta), mostra-se inadequada. Nos locais de alocação do lodo recém extraído dos tanques formam-se grandes torrões densos que persistem enterrados ou sobre a superfície do solo, podendo dificultar o preparo do solo para replantio nos meses anteriores ao início do período chuvoso.

Altas doses também podem causar problemas no desenvolvimento das plantas em contato direto com o lodo. Nos locais de descarte foi observado que plantas de bananeira em contato direto com o lodo produziam frutos visivelmente maiores, mas semelhantes aos verificados nas plantas sem contato com o material. No entanto, as folhas intermediárias das plantas apresentavam sintomas de fitotoxicidade de ferro (Fe^{2+}) similares aos relatados por Zaid et al. (2020). Outra opção adotada pelo produtor é manter o excesso de lodo retirado do tanque na superfície do solo, o que pode gerar passivo ambiental significativo ao longo do tempo.

As qualidades química, física e biológica do lodo embasaram cálculos de doses fixas de lodo seco e úmido para aplicação exclusiva na superfície de solos cultivados com espécies de porte alto e trepadeiras tutoradas, de modo que o resíduo não tenha contato com as plantas ou com o produto comercial. O lodo produzido no Ramal do Banco é composto, respectivamente, por 2,1%, 35,7% e 62,9% de areia, silte e argila (EMBRAPA, 2017), sendo caracterizado como muito argiloso segundo Santos et al. (2018), possuindo semelhança com a granulometria de solos naturais. Justifica-se, portanto, a denominação de *Pond bottom soil* segundo BOYD; WOOD; THUNJAI (2002). A umidade

média (%) (EMBRAPA, 2017) do lodo foi de 94,2%, cujo valor foi utilizado para os cálculos das doses úmidas do lodo para cada espécie específica.

As médias dos atributos de acidez do lodo indicam alta acidez (Tabela 1), mas com baixos níveis de Al^{3+} , m% e H+Al neste *Pond bottom soil* (CFSMG, 1999). A CTC está abaixo do limite mínimo de condicionadores de solo segundo Brasil (2006). No entanto, os demais atributos enquadram-se na classe de média fertilidade, com exceção da classe baixa de K^+ e as altas disponibilidades de P e Fe^{2+} (BRASIL et al., 2020; CFSMG, 1999). A média de Fe^{2+} mostrou-se cerca de 9 vezes maior que o limite máximo de disponibilidade, e foi classificada como muito alta segundo Silva et al. (2020) (Tabela 1). Por isso, considerado o risco de absorção de altas quantidades e o potencial de fitotoxicidade, o teor de Fe^{2+} embasou os cálculos das doses massas seca e úmida de lodo de piscicultura para as culturas contempladas neste trabalho. Assim, as doses de lodo a serem recicladas foram limitadas pelo teor de Fe^{2+} presente no lodo e pela quantidade solúvel do micronutriente recomendada para as culturas. Ou seja, o Fe^{2+} presente no lodo serviu como fator limitante das quantidades de lodo a ser reciclado no solo.

Uma análise com base nos teores totais de nutrientes (Tabela 2) torna possível afirmar-se que o lodo gerado no Ramal do Banco é agronomicamente adequado para reciclagem como condicionador de solos cultivados no Ramal do Banco. O material apresenta na sua composição maiores quantidades de N, P e S, além de menores teores de outros nutrientes, a exemplo de outros resultados encontrados por outros autores (ROHOLD, 2024; YURINA et al., 2020; LENS et al., 2021; BROD et al 2017; MANDARIAGA; MARIN, 2017; SILVA et al., 2013; NEMAT; BAKAR; ABAS, 2009). O teor total médio Fe reforça a possibilidade e necessidade de se calcular as doses de lodo a partir do teor disponível do micronutriente no material e, com isso, limitar as quantidades de lodo incorporado ao solo cultivado com as espécies específicas ora contempladas para reciclagem. Os teores médios totais de elementos tóxicos (Tabela 2) presentes no lodo estiveram sempre abaixo dos limites máximos encontrados em Brasil (2020) e Brasil (2014). Por isso, os resultados também corroboram com a qualidade necessária do material para reciclagem no solo agrícola.

Em relação à qualidade biológica do lodo produzido na propriedade no Ramal do Banco, o número mais provável de coliformes termotolerantes encontrado por grama do lodo (NMP g^{-1}) foi de 296,29. O número mais provável de *Salmonella* spp por 10 g do lodo (NMP 10 g^{-1}) e de *Escherichia coli* (nº g^{-1} de ST) evidenciaram ausência dos patógenos no material. O NMP 10 g^{-1} de helmintos foi de 0,19. Assim, estas verificações também corroboram com a adequação do material para reciclagem agrícola uma vez que mostraram conformidade com os valores normatizados por Brasil (2020) e Brasil (2014).

Reciclagem agrícola do lodo de piscicultura no Ramal do Banco

O lodo gerado na propriedade representativa do Ramal do Banco possui altos valores de Fe^{2+} (Tabela 1) e Fe total (Tabela 2) na sua composição. Haja vista o potencial da forma de Fe^{2+} de causar fitotoxicidade nas plantas cultivadas (ZAID et al., 2020), as quantidades de lodo seco e úmido para reciclagem foram calculadas para suprir o Fe^{2+} recomendado via FTE (fritas) para as culturas ora contempladas (PEREIRA et al., 2014; BRASIL et al., 2020; CFSMG, 1999). Ou seja, o teor de ferro (Fe^{2+}) fornecido via FTE para as culturas será substituído pelo Fe^{2+} de uma dose, massa seca ou úmida, de lodo de piscicultura, limitando-se, assim, as quantidades do material a serem aplicadas no solo. Nesse sentido, a reciclagem do lodo em culturas de porte alto e trepadeiras tutoradas cumpre o objetivo de substituir o modo sem critério adotado para sua destinação final pelo produtor. Processo este que se faz potencial causador de impacto negativo sobre o sistema solo-planta ou gerador de passivo ambiental se não reciclado adequadamente no solo, complicando e onerando o preparo posterior das áreas agrícolas para replantio.

A reciclagem do lodo foi feita para as espécies relatadas por Carneiro (2019) e as espécies discutidas com os produtores ao longo das ações de extensão. São elas: i) a bananeira, mamoeiro, maracujazeiro, com doses calculadas para plantas com idades > 3 meses e < 6 meses e > 6 meses; ii) os açaizeiros *euterpe oleraceae* (brs pará) e *euterpe precatoria* (açaizeiro do amazonas), limoeiro, tangerineira, laranjeira, cupuaçuzeiro, seringueira, café conilon, goiabeira, coqueiro, gravioleira, camucamuzeiro, guaranazeiro e aceroleira, com idades > 3 meses e < 1 ano e > 1 ano; iii) os pimentões e pimentas *Capsicum* spp, pimenteira do reino, pimenteira longa e urucuzeiro com idades > 2 meses e < 4 meses e > 4 meses, e; iv) o quiabeiro com idade ≥ 3 meses.

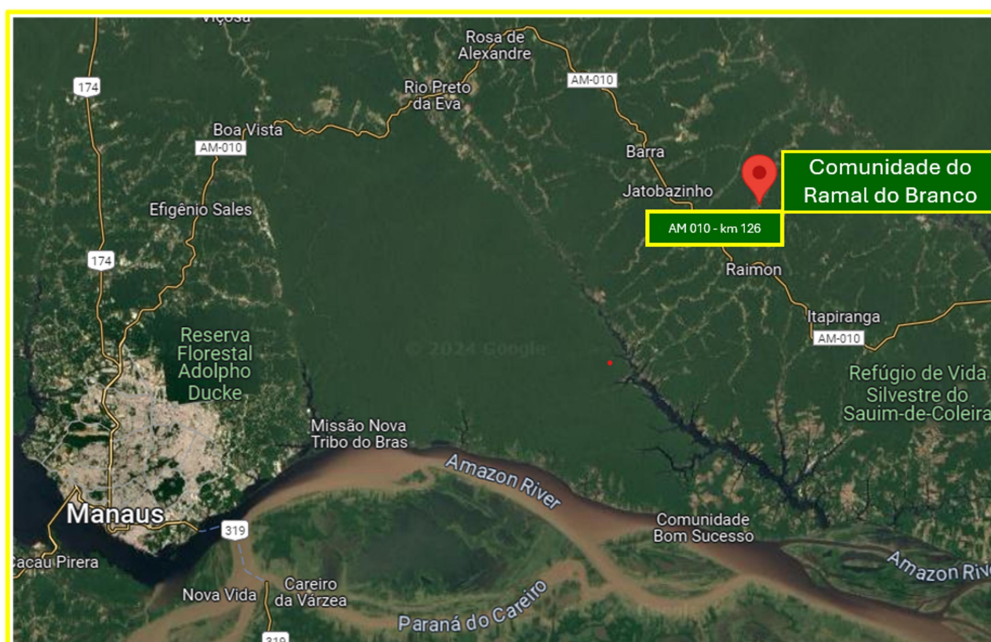
A Tabela 3 e Tabela 4 especificam as doses de lodo, massas seca e úmida, a ser reciclado para cada cultura e, com poucas adições de culturas contempladas, constarão de um manual de uso de lodo de piscicultura no Ramal do Banco, a ser publicado em 2025. Nesse manual deu-se ênfase à reciclagem do lodo úmido, recém retirado do tanque e preparado para aplicação tal como descrito no futuro manual. Isso se deve ao trabalho e mão de obra exigidos para se obter uma

granulometria de lodo próxima de areia grossa, adequada para aplicação superficial do lodo a seco no solo, sem pedriscos ou torrões grosseiros.

CONCLUSÕES

Como ocorre em toda atividade econômica, neste processo de reciclagem existem riscos. Esses riscos estão relacionados à errônea interpretação das recomendações e à aplicação de forma não recomendada. Esses riscos podem ser minimizados se o produtor seguir à risca as recomendações aqui publicadas ou constantes do manual (a ser publicado em 2025) feitas por Engenheiro Agrônomo ou Técnico Agrícola devidamente conhecedores deste texto na sua integralidade. Acredita-se que, em função do que se observa em nível de campo e na literatura especializada, não haverá complicações relativas a fitotoxicidade do ferro (Fe^{2+}), que aparece em altas quantidades total e disponível (solúvel) no lodo uma vez que sua liberação no solo demanda tempo e, por isso, sua absorção pelas plantas é gradual. Acredita-se também que mesmo desordens nutricionais nas culturas são improváveis uma vez que o lodo é aplicado na superfície do solo e que este processo de reciclagem não exclui a adubação normal de cada espécie cultivada. No entanto, ocorrências de carência de nutrientes é comum nos cultivos em função da fertilidade do solo e do manejo da adubação. Por isso, é recomendável que o produtor busque o acompanhamento de técnicos qualificados para, junto com eles, chegarem a decisões tecnicamente mais econômicas e adequadas para cada propriedade específica.

O lodo de piscicultura, até que se tenha resultados de pesquisa que retroalimentem a prática no campo, não deve ser aplicado em doses maiores do que as publicadas neste texto ou recomendadas no manual a ser publicado em 2025. As orientações de preparo do lodo e aplicação nas diferentes culturas devem ser seguidas à risca. O lodo de piscicultura não deve ser aplicado em culturas que não constam deste manual, excepcionalmente em hortaliças ou outras espécies cultivadas com hábito de crescimento rente ao solo. A exceção desta regra é o quiabeiro, cujo produto comercial emerge na parte superior da planta no seu devido tempo, sem o risco de contato com o lodo de piscicultura reciclado. Este se constitui cuidado prioritário, ainda que não haja risco significativo de agente patológicos, de acordo com as avaliações realizadas.



**Figura 1. Localização da Comunidade São Francisco de Assis
(Ramal do Banco), em Rio Preto da Eva, Amazonas.**

Fonte: Autores do trabalho, com reprodução de área mapeada disponível em <https://www.google.com.br/maps> Acesso: Novembro de 2025.

Tabela 1. Qualidade química para fins agrônômicos de lodo de piscicultura do Ramal do Banco em Rio Preto da Eva, Amazonas, analisado como solo. Fonte: Autores do trabalho.

Atributo	2019	2021 ^A	2022	2023/24 ^B	Média	Desvio padrão	Classe de fertilidade
pH CaCl ₂	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	±0,00	Baixo ^C
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,02	0,01	0,0	0,008	±0,01	Muito baixo ^C
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,5	2,04	2,02	2,9	2,36	±0,36	baixa ^C
m%	0,0	0,35	0,35	0,0	0,17	±0,18	Muito baixa ^C
V%	55,81	57,5	58,26	50,22	55,4	±3,15	Média ^C
MO (%)	2,2	1,65	1,67	5,24	2,69	±1,49	Média ^C
CTC (pH 7,0) (cmol _c m ⁻³)	5,66	4,87	4,84	5,83	5,3	±0,45	Média ^C
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,5	2,53	1,70	2,36	2,27	±0,34	Média ^C
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,55	0,53	1,0	0,44	0,63	±0,22	Média ^C
K ⁺ (mg dm ⁻³)	42	44,0	34,0	39,0	39,7	±3,77	Baixo ^D
P (mg dm ⁻³)	55	58	62,0	79,0	63,5	±9,29	Muito alto ^D
SO ₄ ²⁻ (mg dm ⁻³)	12	15,0	14,0	11,55	13,14	±1,42	Alta ^D
B (mg dm ⁻³)	0,6	0,13	0,17	0,19	0,27	±0,19	Baixa ^D
Cu ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,41	0,32	0,33	0,53	0,40	±0,08	Baixa ^D
Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	401	423	433	366	405,8	±25,70	Alta ^D
Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	1,74	2,54	2,82	3,44	2,64	±0,61	Baixa ^D
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	15,51	10,12	9,57	10,44	11,41	±2,39	Alta ^D

^AAnálises realizadas em amostras separadas e conservadas após a ação de extensão. ^BPor motivo de força-maior algumas análises foram feitas em 2023 e outras 2024, mantendo-se as amostras congeladas; ^CClassificação feita segundo Ribeiro et al. (1999); ^DClassificação feita segundo Silva et al. (2020).

Tabela 2. Teores totais de nutrientes e de elementos tóxicos (metais pesados) no lodo de piscicultura do Ramal do Banco em Rio Preto da Eva, Amazonas. Fonte: Autores do trabalho.

Nutriente total	2019	2023/2024 ^A	Média	Desvio Padrão
N (g kg ⁻¹)	3,7	7,0	5,35	±2,3
P (g kg ⁻¹)	1,19	0,6	0,89	±0,41
P (% P ₂ O ₅)	(2,7% P ₂ O ₅)	(1,4% P ₂ O ₅)	(2,04% P ₂ O ₅)	-
K (g kg ⁻¹)	0,0	<0,1	0,05	±0,07
Ca (g kg ⁻¹)	0,97	6,7	3,8	±4,05
Mg (g kg ⁻¹)	0,62	0,5	0,56	±0,08
S (g kg ⁻¹)	2,13	3,5	2,8	±0,96
B (mg kg ⁻¹)	4,58	<0,1	2,29	±3,16
Cu (mg kg ⁻¹)	5,0	0,4	2,7	±3,25
Fe (mg kg ⁻¹)	8411,7	8000	8206,0	±291,11
Mn (mg kg ⁻¹)	13,12	3,2	8,16	±7,01
Zn (mg kg ⁻¹)	26,37	18,9	22,63	±5,28
Metal tóxico ^B	2019	2023/24	Média	Desvio Padrão
As (mg kg ⁻¹)	0,01	3,5	1,75	±2,46
Ba (mg kg ⁻¹)	0,01	-	<0,01	±0,06
Cd (mg kg ⁻¹)	0,01	<0,1	0,05	±0,06
Pb (mg kg ⁻¹)	0,01	<0,1	0,05	±0,06
Cr (mg kg ⁻¹)	0,01	27,3	13,6	±19,29
Hg (mg kg ⁻¹)	0,01	<0,1	0,05	±0,06
Mo (mg kg ⁻¹)	0,01	-	<0,01	±0,06
Ni (mg kg ⁻¹)	0,01	<0,1	0,05	±0,06
Se (mg kg ⁻¹)	0,01	7,5	3,75	±5,29

^AAnálises realizadas parte em 2023 e parte em 2024 por motivo de força-maior em amostras separadas e conservadas após o encerramento da ação de extensão; ^BAnálises realizadas com base na resolução CONAMA n° 498/2020 (BRASIL, 2020).

Tabela 3. Doses massa seca e úmida de lodo de piscicultura para culturas de porte arbóreo e herbáceas no Ramal do Banco. Fonte: Autores do trabalho.

Cultura	Dose de FTE BR 12	² Quantidade de Fe ²⁺	Lodo seco (kg) ³	Lodo úmido (kg) ⁴
Bananeira ¹ (> 6 meses)	80 g planta ⁻¹	2,4 g planta ⁻¹	5,9 kg planta ⁻¹	11,5 kg planta ⁻¹
Bananeira ¹ (>3 meses e <6 meses)	-	1/2 dose da planta > 6 meses	1/2 dose da planta > 6 meses	1/2 dose da planta > 6 meses
Açaizeiro <i>E. oleraceae</i> (BRS Pará) (> 1 ano)	10 g planta ⁻¹	0,3 g planta ⁻¹	0,74 g planta ⁻¹	1,44 kg planta ⁻¹
Açaizeiro <i>E. oleracea</i> (BRS Pará) (>3 meses e < 1 ano)	-	1/2 dose para da planta > 1 ano	1/2 dose para da planta > 1 ano	1/2 dose para da planta > 1 ano
Açaizeiro <i>E. precatoria</i> (quintal/mata > 1 ano)	10 g planta ⁻¹	0,3 g planta ⁻¹	0,74 kg planta ⁻¹	1,44 kg planta ⁻¹
Açaizeiro <i>E. precatoria</i> (quintal/mata > 3 meses e < 1 ano)	-	1/2 dose para quintal/mata > 1 ano	1/2 dose para quintal/mata > 1 ano	1/2 dose para Quintal/mata > 1 ano
Pupunheira (<i>Bactris gasipaes</i>) (>1 ano)	10 g planta ⁻¹	0,3 g planta ⁻¹	0,74 g planta ⁻¹	1,44 kg planta ⁻¹
Pupunheira (<i>Bactris gasipaes</i>) (>4 meses e > 1 ano)	-	1/2 dose para da planta > 1 ano	1/2 dose para da planta > 1 ano	1/2 dose para da planta > 1 ano
Citros - limoeiro, tangerineira, laranjeira (> 1 ano)	70 g planta ⁻¹	2,1 g planta ⁻¹	5,2 kg planta ⁻¹	10,05 kg planta ⁻¹
Citros - limoeiro, tangerineira, laranjeira (> 3 meses e < 1 ano)	-	1/2 dose para da planta > 1 ano	1/2 dose para da planta > 1 ano	1/2 dose para da planta > 1 ano
Cupuaçuzeiro (> 1 ano)	10 g planta ⁻¹	0,3 g planta ⁻¹	0,74 kg planta ⁻¹	1,44 kg planta ⁻¹
Cupuaçuzeiro (> 3 meses < 1 ano)	-	1/2 dose para da planta > 1 ano	1/2 dose para da planta > 1 ano	1/2 dose para da planta > 1 ano
Mamoeiro ⁵ (> 6 meses)	30 kg ha ⁻¹	0,9 kg ha ⁻¹	2200 kg ha ⁻¹	4300 kg ha ⁻¹
Mamoeiro (>3 meses e < 6 meses)	-	1/2 dose para planta > 6 meses	1/2 dose para planta > 6 meses	1/2 dose para planta > 6 meses
Seringueira (> 1 ano)	10 g planta ⁻¹	0,3 g planta ⁻¹	0,74 kg planta ⁻¹	1,44 kg planta ⁻¹
Seringueira (> 3 meses e < 1 ano)	-	1/2 dose para da planta > 1 ano	1/2 dose para da planta > 1 ano	1/2 dose para da planta > 1 ano
Cafeeiro conilon (<i>C. canefora</i>) (> 1 ano)	50 g planta ⁻¹	1,5 g planta ⁻¹	3,7 kg planta ⁻¹	7,2 kg planta ⁻¹
Cafeeiro conilon (<i>C. canefora</i>) (> 3 meses e < 1 ano)	-	1/2 dose para da planta > 1 ano	1/2 dose para da planta > 1 ano	1/2 dose para da planta > 1 ano

¹Recomendação segundo Pereira et al. (2014). As demais recomendações de FTE BR 12 estão de acordo com Brasil et al. (2020). ²Quantidade de Fe²⁺ suprida com FTE BR 12 e com as doses de lodo. ³Lodo seco após secagem por 24 horas em sol pleno e moído até ser possível de ser espalhado na superfície do solo sem torrões.

⁴Lodo úmido após retirada do tanque, com capacidade mínima de espalhamento na superfície do solo. ⁵calculada conforme o n° de plantas por hectare. Dose em kg ha⁻¹ de lodo serão recalculadas por planta dividindo-se a dose de lodo úmido pelo n° de plantas por hectare.

Tabela 4. Doses massa seca e úmida de lodo de piscicultura para culturas trepadeiras e de porte arbustivo e no Ramal do Banco. Fonte: Autores do trabalho.

Cultura	Dose de FTE BR 12	² Quantidade de Fe ²⁺	Lodo seco ³	Lodo úmido ⁴
Guaranazeiro (> 1 ano)	30 kg ha ⁻¹	0,9 kg ha ⁻¹	2218 kg ha ⁻¹	4300 kg ha ⁻¹
Guaranazeiro (> 3 meses < 1 ano)	-	½ da dose para planta > 1 ano	½ da dose para planta > 1 ano	½ da dose para planta > 1 ano
Maracujazeiro (> 6 meses)	30 g planta ⁻¹	0,9 g	2,22 kg planta ⁻¹	4,3 kg planta ⁻¹
Maracujazeiro (> 3 meses < 6 meses)	-	½ da dose para planta > 6 meses	½ da dose para planta > 6 meses	½ da dose para planta > 6 meses
Pimentões e Pimenteiras <i>Capsicum</i> ¹ (> 4 meses)	50 kg ha ⁻¹	1,5 kg	3700 kg ha ⁻¹	7200 kg ha ⁻¹
Pimentões e pimenteiras <i>Capsicum</i> spp (> 2 meses < 4 meses)	-	½ da dose para planta > 4 meses	½ da dose para planta > 4 meses	½ da dose para planta > 4 meses
Pimenteira do Reino (> 4 meses)	30 g planta ⁻¹	0,9 g planta ⁻¹	2,22 kg planta ⁻¹	4,3 kg planta ⁻¹
Pimenteira do reino (> 2 meses < 4 meses)	-	½ da dose para planta > 4 meses	½ da dose para planta > 4 meses	½ da dose para planta > 4 meses
Pimenteira longa	30 g planta ⁻¹	0,9 g planta ⁻¹	2,22 kg planta ⁻¹	4,3 kg planta ⁻¹
Pimenteira longa (> 2 meses < 4 meses)	-	½ da dose para planta > 4 meses	½ da dose para planta > 4 meses	½ da dose para planta > 4 meses
Quiabeiro (>3 meses somente)	50 kg ha ⁻¹	1,5 kg	3700 kg ha ⁻¹	7200 kg ha ⁻¹
Urucuzeiro (>6 meses somente)	50 kg ha ⁻¹	1,5 kg	3700 kg ha ⁻¹	7200 kg ha ⁻¹
Urucuzeiro (>3 meses e <6 meses somente)	-	½ da dose para planta > 6 meses	½ da dose para planta > 6 meses	½ da dose para planta > 6 meses
Aceroleira (>6 meses)	50 kg ha ⁻¹	1,5 kg	3700 kg ha ⁻¹	7200 kg ha ⁻¹
Aceroleira (>2 meses e <6 meses somente)	50 kg ha ⁻¹	1,5 kg	3700 kg ha ⁻¹	7200 kg ha ⁻¹

¹Culturas dos pimentões e das pimenta-de-cheiro verde e doce, pimenta-de-cheiro-amarela e ardida (pimenta cumari-do-Pará), pimentas murupi e malagueta. ²Quantidade de Fe²⁺ suprida com a aplicação do FTE BR 12 e com as doses de lodo seco e úmido. ³Lodo seco após secagem (12 horas em sol pleno, sendo revirado a cada 3 horas) e moagem completa até adquirir forma que possibilite escoamento (espalhamento) do material com aspecto de areia grossa, com ausência de torrões grosseiros. ⁴Lodo úmido após retirada do tanque, mas que apresente uma capacidade de escoamento e espalhamento na superfície do solo próxima das plantas. Observação: doses em kg ha⁻¹ podem ser calculadas para a planta individual, em kg planta⁻¹, dividindo-se a dose pelo número de plantas por hectare plantado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, V.O.T.F., Firmo, A.L.B.; Melo, D.C.P., Ferreira, D.A.F., Silva, R.F. Uso do lodo proveniente dos viveiros de cultivos de peixes na produção de mudas de Pitanga (*Eugenia Uniflora* L.). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13(1). 2022. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.001.0022>
- Boyd, C.E., Wood, C.W.; Thunjai, T. **Aquaculture pond bottom soil quality management**. Department of Fisheries and Allied Aquacultures Auburn University, Alabama. Pond Dynamics, Aquaculture Collaborative Research Support Program Oregon State University, Corvallis, Oregon, 2002. 41 p.
- Brasil, E.C., Cravo, M.S., Viegas, I.J.M. **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2. ed. rev. e atual. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 419 p.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 17, de 18 de junho de 2014**. Brasília. 2014.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020**.
- Brasil. Corretivos e Condicionadores de Solo. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/MAPA. **Instrução normativa/SDA nº 35, de 4 de julho de 2006**. Secretaria de Defesa Agropecuária/SDA. Brasília. 2006.
- Brod, E., Oppen, J., Kristoffersen, A.O., Haraldsen, T.K., Krogstad, T. Drying or anaerobic digestion of fish sludge: Nitrogen fertilisation effects and logistics. **AMBIO**. 2017. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0927-5>
- Carneiro, J.P.R. Impacto do programa de aquisição de alimentos na sustentabilidade de agricultores familiares no município de Rio Preto da Eva, Amazonas. **Dissertação de Mestrado** (Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia-PPGCASA), Universidade Federal do Amazonas, 2018. 117 p.
- CFSMG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação)**. Antonio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Victor Hugo Alvarez V. (Edits). Viçosa, 1999. 359 p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Paulo César Teixeira et al. (Editores técnicos), 3ª ed. rev. e ampl., Brasília, DF : Embrapa, 2017. 573 p.
- Han, R., Zhao, C., Liu, J., Chen, A., Wang, H., Thermal characterization and syngas production from the pyrolysis of biophysical dried and traditional thermal dried sewage sludge. **Biores. Technology**, v. 198, p 276-282. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.071>
- Herzel, H., Krüger, O., Hermann, L., Adam, C. Sewage sludge ash: a promising secondary phosphorus source for fertilizer production. **Sci. Total Environment**, v. 542, 1136-1143. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.059>
- Jiang, L., Yuan, X., Li, H., Xiao, Z., Liang, J., Wang, H., Wu, Z. 2015. Pyrolysis and combustion kinetics of sludge: camphor pellet thermal decomposition using thermogravimetric analysis. **Energy Convers. Management**, v. 106, p. 282-289. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.09.046>
- Lenz, G.L., Loss, A., Lourenzi, C.R., Lopes, D.L.A., Siebeneichler, L.M.S., Brunetto, G. Lettuce growth in aquaponic system and in soil fertilized with fish sludge. **Aquaculture Research**, v. 52, p. 5008-5021. 2021. <http://dx.doi.org/10.1111/are.15372>
- Madariaga, S.T., Marín, S.L. Sanitary and environmental conditions of aquaculture sludge. **Aquaculture Research**, v. 48, p. 1744-1750. 2017. <http://dx.doi.org/10.1111/are.13011>
- Maigual-Enriqueza, Y.A., Maia, A.A.D., Guerrero-Romero, C.L., Matsumoto, T., Rangela, E.C., Morais, L.C. Comparison of sludges produced from two different recirculating aquaculture systems (RAS) for recycle and disposal. **Aquaculture**, v. 502, p. 87-96. 2019.
- Maozhe, C., Denise, B., Mathieu, G., Jacques, M., Rémy, G. Environmental and technical assessments of the potential utilization of sewage sludge ashes (SSAs) as secondary raw materials in construction. **Waste Management**, v. 33, p. 1268-1275. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.004>
- Marconi, M.A.; Lakatos, E.V. **Metodologia científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2004.
- Nemati, K., Bakar, N.K.A., Abas, M.R. Investigation of heavy metals mobility in shrimp aquaculture sludge: Comparison of two sequential extraction procedures. **Microchemical Journal**, v. 91, p. 227-231. 2009.
- Pereira, J.C.R., Moreira, A., Arruda, M.R., Gasparotto, L. **Recomendação de adubação, calagem e gessagem para o cultivo da bananeira no estado do Amazonas (2ª aproximação)**. Documentos, Manaus, Brasil: Embrapa Amazonas Ocidental. 2014.
- Pozzetti, V.C., Caldas, J.N. O descarte de resíduos sólidos no âmbito da sustentabilidade. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, v. 10(1). 2019. <https://doi.org/10.7213/rev.dir.econ.soc.v10i1.24021>
- Rohold, L. **Will dried sludge from fish farming become a contributor or competitor to the utilization of municipal sludge?** Disponível em: <https://conferences.aquaenviro.co.uk/proceedings/will-dried-sludge-fish-farming-become-contributor-competitor-utilization-municipal-sludge/> Acesso em: 24 de julho de 2024.

23. Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Dos Anjos, L. H.C., Oliveira, V.A. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 5. ed. rev e ampl, Brasília: Embrapa. 2018. 355 p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1094003>
24. Shafi, J., Waheed, K.N., Mirza, Z.S., Zafarullah, M. Variation in Bottom Soil Quality with Increasing Pond Age in Freshwater Aquaculture. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 22(2), TRJFAS18305. 2022. <http://doi.org/10.4194/TRJFAS18305>
25. Silva, F.O.R., Melo, C.C.V., Botelho, H.A., Souza F.B.M., Ramos, J.D. Efeito do resíduo de tanque de piscicultura na produção de mudas de maracujazeiro. **Bol. Ind. Animal**, Nova Odessa, v.74 (1), p. 58-64. 2017. <https://doi.org/10.17523/bia.v74n1p58>
26. Silva, R.F., Silva, J.L.A., Araújo, M.S.B., Faustino, O.W.C. Qualidade do resíduo de tanques de produção de alevinos como condicionante de solos no semiárido de Pernambuco: subsídios para gestão ambiental. **Gaia Scientia**, v. 7(1), p. 58-63, 2013.
27. Thanh, D.T., Ty, N.M., Hien, N.V., Berg, H., Nguyen, T.K.O., Vu, P.T.; Minh, V.Q.M., Da, C.T. Effects of organic fertilizers produced from fish pond sediment on growth performances and yield of Malabar and Amaranthus vegetables. **Frontiers in Sust Food System**, v. 7:1045592. 2023. <http://dx.doi.org/10.3389/fsufs.2023.1045592>
28. Wanga, H., Seekampa, I., Malzahn, A., Hagemann, A., Carvajal, A.K., Slizyteb, R., Standal, I.B., Handåb, A., Reitana, K.I. Growth and nutritional composition of the polychaete *Hediste diversicolor* (OF Müller, 1776) cultivated on waste from land-based salmon smolt aquaculture. **Aquaculture**, v. 502, p. 232-241. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.047>
29. Yin, Y., Wang, J. Biohydrogen production using waste activated sludge disintegrated by gamma irradiation. **Appl. Energy**, v. 155, p. 434-439. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.105>
30. Yurina, D.Y., Astakhova, I., Shcherbatova, T., Shcherbatov, I. The study of the suitability for use in agriculture of sludge and hydrochemical indicators of water in the reservoirs of the fish farm LLC "Albashi". **Natalya E3S Web of Conferences**, 175, 02001, INTERAGROMASH. 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017502001>
31. Zaid, A., Ahmad, B., Jaleel, H.; Wani, S.H.; Hasanuzzaman, M.A. Critical Review on Iron Toxicity and Tolerance in Plants: Role of Exogenous Phytoprotectants. In: AFTAB T HAKEEM KR (Eds). **Plant Micronutrients**, 2020. p. 83-99. Disponível em: <https://dokumen.pub/plant-micronutrients-deficiency-and-toxicity-management-1st-ed-9783030498559-9783030498566.html> Acesso em: 21 de março de 2025.