RGe ISSN: 2177-3246

# ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM CASTANHAIS NATIVOS NA AMAZÔNIA ORIENTAL: IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO E CONSERVAÇÃO DA CASTANHEIRA-DO-BRASIL

# PHYSICAL AND CHEMICAL SOIL ATTRIBUTES IN NATIVE BRAZIL NUT GROVES IN EASTERN AMAZONIA: IMPLICATIONS FOR THE MANAGEMENT AND CONSERVATION OF THE BRAZIL NUT TREE

# ATRIBUTOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL SUELO EN PLANTACIONES NATIVAS DE CASTAÑA DE BRASIL EN LA AMAZONIA ORIENTAL: IMPLICACIONES PARA EL MANEJO Y LA CONSERVACIÓN DEL ÁRBOL DE CASTAÑA DE BRASIL

10.56238/revgeov17n5-126

**Raimundo Cosme de Oliveira Junior**
Doutor em Geologia e Geoquímica
Instituição: Embrapa Amazônia Oriental
E-mail: raimundo.oliveira-junior@embrapa.br

**Everton Araújo Cavalcante**
Mestre em Recursos Naturais da Amazônia
Instituição: Universidade Federal do Oeste do Pará (Ufopa)
E-mail: tomcal84@hotmail.com

**Marcelino Carneiro Guedes**
Doutor em Recursos Florestais
Instituição: Embrapa Amapá
E-mail: marcelino.guedes@embrapa.br

**Darlisson Bentes dos Santos**
Mestre em Energia na Agricultura
Instituição: Embrapa Amazônia Oriental (bolsista)
E-mail: engenheirodbs@hotmail.com

**Patricia da Costa**
Doutora em Biodiversidade e Conservação
Instituição: Embrapa Meio Ambiente
E-mail: patricia.da-costa@embrapa.br

**Nagib Jorge Melem Junior**
Doutor em Agronomia
Instituição: Embrapa Amapá
E-mail: nagib.melem@embrapa.br

RGe
ISSN: 2177-3246

**Yash Brendo Pereira Coelho Guimarães**
Mestre em Agronomia
Instituição: Embrapa Amazônia Oriental
E-mail: yashyb025@gmail.com

**Daniel Rocha de Oliveira**
Mestre em Clínica e Reprodução Animal
Instituição: Adepara
E-mail: handvet@yahoo.com.br

**Eduardo Jorge Maklouf Carvalho**
Doutor em Solos e Nutrição de Plantas
Instituição: Embrapa Amazônia Oriental
E-mail: eduardo.maklouf@embrapa.br

**Carlos Alberto Costa Veloso**
Doutor em Solos e Nutrição de Plantas
Instituição: Embrapa Amazônia Oriental
E-mail: carlos.veloso@embrapa.br

**RESUMO**
Este estudo teve como objetivo caracterizar os atributos físicos e químicos de solos sob dois castanhais nativos localizados na Floresta Nacional do Tapajós (Pará) e na Reserva Extrativista Rio Cajari (Amapá), de modo a fornecer subsídios para o manejo sustentável da castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*). Foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0–20 cm, em um grid sistemático de 60 pontos em cada área, e analisados parâmetros granulométricos, físico-hídricos e químicos conforme metodologias da Embrapa (2011). Os resultados mostraram contrastes marcantes entre os dois ambientes. O solo do Castanhal I apresentou textura argilosa, maiores teores de carbono e nitrogênio, maior microporosidade e porosidade total, condições favoráveis à retenção de água e nutrientes, mas também elevada acidez e alta saturação por alumínio, configurando limitações químicas relevantes. No Castanhal II, a textura arenosa, a predominância de macroporos e os menores teores de matéria orgânica e nutrientes apontaram limitações físicas e de fertilidade, ainda que com menor acidez e baixa saturação por alumínio. A variabilidade espacial dos atributos edáficos em ambas as áreas destacou a importância de análises locais detalhadas, que considerem o mosaico de condições internas a cada castanhal. Os resultados evidenciam que a castanheira apresenta tolerância a ambientes contrastantes, mas enfrenta restrições específicas, reforçando a necessidade de estratégias de manejo diferenciadas. Este trabalho contribui para a compreensão das relações solo–espécie na Amazônia Oriental e orienta práticas de manejo e conservação voltadas à sustentabilidade dos castanhais.

**Palavras-chave:** *Bertholletia excelsa*. Atributos Edáficos. Variabilidade Espacial. Fertilidade do Solo. Amazônia.

**ABSTRACT**
This study aimed to characterize the physical and chemical attributes of soils under two native Brazil nut stands located in the Tapajós National Forest (Pará) and the Rio Cajari Extractive Reserve (Amapá), in order to provide insights for the sustainable management of *Bertholletia excelsa*. Soil samples were collected at a depth of 0–20 cm using a systematic grid of 60 points in each area, and granulometric, hydro-physical, and chemical parameters were analyzed according to Embrapa (2011) protocols. Results revealed marked contrasts between the two environments. The soil of Castanhal I presented a clayey texture, higher carbon and nitrogen contents, greater microporosity and total porosity, conditions favorable to water and nutrient retention, but also high acidity and elevated aluminum

saturation, configuring significant chemical limitations. In Castanhal II, the sandy texture, predominance of macropores, and lower organic matter and nutrient contents indicated physical and fertility limitations, although with lower acidity and reduced exchangeable aluminum. The spatial variability of edaphic attributes in both areas highlighted the importance of detailed local analyses that consider the internal mosaic of conditions within each stand. Findings show that Brazil nut trees tolerate contrasting environments but face specific restrictions, reinforcing the need for site-adapted management strategies. This work contributes to understanding soil–species relationships in the eastern Amazon and provides guidelines for management and conservation practices aimed at the long-term sustainability of Brazil nut stands.

**Keywords:** *Bertholletia excelsa*. Soil Attributes. Spatial Variability. Soil Fertility. Amazon.

**RESUMEN**
Este estudio tuvo como objetivo caracterizar los atributos físicos y químicos de los suelos bajo dos huertos nativos de castaña de Brasil ubicados en el Bosque Nacional Tapajós (Pará) y la Reserva Extractiva Río Cajari (Amapá), con el fin de brindar apoyo para el manejo sostenible del árbol de castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*). Se recolectaron muestras de suelo a una profundidad de 0–20 cm, en una cuadrícula sistemática de 60 puntos en cada área, y se analizaron parámetros granulométricos, físico-hídricos y químicos según las metodologías de Embrapa (2011). Los resultados mostraron contrastes notables entre los dos ambientes. El suelo del huerto de castaña de Brasil I presentó una textura arcillosa, mayores contenidos de carbono y nitrógeno, mayor microporosidad y porosidad total, condiciones favorables para la retención de agua y nutrientes, pero también alta acidez y alta saturación de aluminio, configurando limitaciones químicas relevantes. En Castanhal II, la textura arenosa, el predominio de macroporos y los bajos niveles de materia orgánica y nutrientes indicaron limitaciones físicas y de fertilidad, incluso con menor acidez y baja saturación de aluminio. La variabilidad espacial de los atributos edáficos en ambas áreas resaltó la importancia de realizar análisis locales detallados que consideren el mosaico de condiciones internas dentro de cada plantación de castaña de Brasil. Los resultados muestran que la castaña de Brasil presenta tolerancia a ambientes contrastantes, pero enfrenta restricciones específicas, lo que refuerza la necesidad de estrategias de manejo diferenciadas. Este trabajo contribuye a la comprensión de las relaciones suelo-especie en la Amazonía oriental y orienta las prácticas de manejo y conservación dirigidas a la sostenibilidad de las plantaciones de castaña de Brasil.

**Palabras clave:** *Bertholletia excelsa*. Atributos Edáficos. Variabilidad Espacial. Fertilidad del Suelo. Amazonía.

## 1 INTRODUÇÃO

A castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é uma das espécies arbóreas mais emblemáticas da Amazônia, desempenhando papel central na estruturação da floresta, na manutenção da biodiversidade e no fornecimento de serviços ecossistêmicos. Além de sua relevância ecológica, a espécie possui notável importância socioeconômica, uma vez que seus frutos constituem a base de subsistência de inúmeras populações tradicionais e ribeirinhas. Nesse sentido, o reconhecimento do papel da castanheira na estrutura da floresta e de seu potencial de sustentabilidade intensifica a necessidade de estudos sobre tão importante espécie (SALOMÃO, 2014). A relevância da conservação da *B. excelsa* torna-se ainda mais evidente ao se considerar que a espécie está inserida na lista oficial de espécies ameaçadas de extinção do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2008).

Diversos fatores condicionam a regeneração natural e o crescimento da castanheira, incluindo características microclimáticas, disponibilidade de luz e atributos edáficos. Em um estudo conduzido no sudeste do Amapá, Neves (2010) demonstrou que atributos do solo se correlacionaram mais fortemente com o crescimento da castanheira do que a disponibilidade de luz. A porosidade foi um fator crítico, influenciando positivamente o incremento em altura e diâmetro, enquanto a análise de regressão múltipla mostrou que a disponibilidade de nutrientes esteve significativamente associada ao incremento em altura. Da mesma forma, Guedes et al. (2011) observaram que o potássio foi o principal nutriente associado ao desenvolvimento e à regeneração de castanheiras em áreas nativas, reforçando a hipótese de que a fertilidade do solo, ainda que baixa em grande parte da Amazônia, desempenha papel essencial no estabelecimento da espécie.

Em Porto Velho, Rondônia, Locatelli et al. (2005) investigaram o desenvolvimento da castanheira-da-amazônia em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico plíntico, de textura argilosa, e observaram que a espécie apresentou bom crescimento em altura e diâmetro, mesmo em solos ácidos, distróficos, com baixa saturação por bases, reduzida capacidade de troca catiônica (CTC) e alta saturação por alumínio. Esses resultados sugerem que a castanheira possui elevada plasticidade fisiológica e ecológica para sobreviver em condições químicas limitantes, embora a produtividade possa variar de acordo com a combinação de fatores edáficos locais.

Apesar desses avanços, ainda existem lacunas quanto ao entendimento abrangente das interações entre atributos físicos e químicos do solo e o desenvolvimento da castanheira em diferentes contextos edafoclimáticos da Amazônia. Muitos estudos são regionais e apresentam escopo limitado, o que dificulta a formulação de estratégias de manejo baseadas em evidências para conservação e incremento da produtividade de castanhais nativos.

Nos últimos dez anos, novas pesquisas ampliaram o conhecimento sobre a relação entre castanheira e atributos do solo, com destaque para estudos que integraram análises de fertilidade, textura, porosidade e estrutura do solo. Silva et al. (2021), ao investigar diferentes classes de solos

amazônicos, concluíram que a ocorrência e a produção de frutos da castanheira são explicadas principalmente por características edáficas como pH, saturação por alumínio, profundidade efetiva e textura. Resultados semelhantes foram relatados por Butzke et al. (2020) em sistemas agroflorestais com castanheira, cupuaçuzeiro e pupunheira, em Rondônia. Nesse caso, a análise de até 20 anos de implantação evidenciou acúmulo de nutrientes e de carbono orgânico na camada superficial do solo (0–20 cm), mas também apontou para o empobrecimento em profundidade, destacando a necessidade de práticas de manejo que considerem a fertilidade ao longo do perfil.

Em um estudo conduzido pela Embrapa, verificou-se que a castanheira apresenta eficiência na recuperação de solos degradados, com melhorias observadas em propriedades químicas e biológicas em pastagens abandonadas, aproximando-se das condições edáficas de florestas nativas (EMBRAPA, 2023). Esse achado reforça o potencial da espécie não apenas em sistemas nativos, mas também em iniciativas de restauração florestal e recuperação de áreas degradadas.

Outro aspecto recentemente explorado é a relação entre atributos físicos do solo e o crescimento da castanheira. Pesquisas sobre estabilidade de agregados no sudoeste amazônico demonstraram que variáveis como textura, acidez e disponibilidade de cálcio e magnésio são determinantes para a manutenção da estrutura do solo, assegurando maior porosidade e infiltração de água, condições fundamentais para espécies de grande porte (LIMA et al., 2024). De maneira complementar, Melo et al. (2017), ao comparar diferentes usos da terra no sul da Amazônia, constataram que a conversão de floresta para pastagem ou cultivo promove perda de matéria orgânica, aumento da acidez, compactação e redução da porosidade, fatores que comprometem o estabelecimento de espécies arbóreas como a castanheira.

Adicionalmente, estudos recentes em sistemas integrados de produção têm mostrado que a presença de árvores contribui para a melhoria da fertilidade e da estrutura do solo, elevando o pH, reduzindo a saturação por alumínio e aumentando os teores de matéria orgânica (SOUZA et al., 2024). Tais achados demonstram que, embora a castanheira seja tolerante a solos quimicamente pobres, o seu desenvolvimento pode ser significativamente favorecido por condições edáficas mais equilibradas.

Esses avanços evidenciam que o crescimento e a produtividade da castanheira não podem ser compreendidos apenas sob a ótica da luz ou da fertilidade básica, mas resultam de uma complexa interação entre fatores químicos (pH, nutrientes, saturação por alumínio, CTC) e físicos (textura, densidade, porosidade, estabilidade de agregados). Essa constatação torna fundamental a realização de estudos comparativos em diferentes regiões amazônicas, uma vez que a variabilidade edáfica pode explicar parte significativa das diferenças observadas na regeneração natural e no desempenho produtivo dos castanhais.

A problemática central, portanto, reside na escassez de informações integradas e atualizadas sobre atributos físicos e químicos do solo em castanhais nativos de diferentes regiões da Amazônia.

Em particular, o estado do Pará, que abriga a Floresta Nacional do Tapajós, e o estado do Amapá, onde se localiza a Reserva Extrativista do Rio Cajari, representam ambientes estratégicos para tais investigações, dado o peso socioeconômico dos castanhais nessas localidades. A ausência de dados comparativos limita a proposição de práticas de manejo adaptadas às condições locais e dificulta o desenvolvimento de estratégias de conservação mais eficazes.

A justificativa para a realização do presente estudo é ampla. Do ponto de vista ecológico, a castanheira é essencial para a manutenção da biodiversidade e da estrutura florestal, atuando como espécie-chave em diferentes tipologias amazônicas. Do ponto de vista socioeconômico, representa a principal fonte de renda de comunidades extrativistas, especialmente no Pará e no Amapá. Além disso, sob a ótica ambiental, a espécie contribui para a ciclagem de nutrientes, sequestro de carbono e manutenção dos serviços ecossistêmicos.

O presente trabalho busca preencher lacunas científicas relevantes ao realizar uma análise descritiva dos atributos físicos e químicos dos solos em dois castanhais nativos localizados na Amazônia Oriental: a Floresta Nacional do Tapajós, no estado do Pará, e a Reserva Extrativista Rio Cajari, no estado do Amapá. O objetivo é fornecer subsídios científicos para a formulação de práticas de manejo que promovam a manutenção ou a ampliação da produtividade dessas áreas, assegurando ao mesmo tempo a conservação da espécie e a sustentabilidade socioambiental das comunidades que dela dependem.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi conduzido em dois castanhais nativos da Amazônia Oriental, localizados em diferentes estados e sob distintas condições edafoclimáticas.

O Castanhal I (C1) situa-se na Floresta Nacional do Tapajós (FLONA Tapajós), município de Belterra, Pará, no km 85 da Rodovia Santarém–Cuiabá, nas coordenadas geográficas 54°55'47.70" W e 3°03'16.00" S. O clima é classificado como Ami, segundo Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação seca de dois a três meses por ano. A precipitação média anual é de aproximadamente 2000 mm, a temperatura média anual de 25 °C e a umidade relativa do ar de 86%, variando entre 76 e 93% (OLIVEIRA, 2005).

O Castanhal II (C2) localiza-se na Reserva Extrativista Rio Cajari (RESEX Cajari), no município de Vitória do Jari, Estado do Amapá, nas coordenadas 52°18’23,63’’ W e 0°33’50,88’’ S. O clima é tropical úmido, com pequenas variações térmicas ao longo do ano. A temperatura média anual varia entre 25 e 30 °C e a precipitação média anual alcança cerca de 2500 mm (SOCIOAMBIENTAL, 2025).

## 2.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL

Em cada castanhal foi demarcada uma parcela de 300 × 300 m, na qual foi implementado um sistema de amostragem sistemática em grade (*grid*). Foram definidos 60 pontos amostrais, com espaçamento regular de 50 m entre linhas e 30 m entre pontos, resultando em uma cobertura espacial representativa da área. Essa estratégia permitiu reduzir a variabilidade amostral e assegurar maior precisão estatística dos resultados (VIEIRA, 2000).

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0–20 cm, correspondente à camada arável e de maior atividade biológica, onde se concentram raízes finas, maior aporte de matéria orgânica e maior variação dos atributos físicos e químicos em função do manejo e da vegetação (RESENDE et al., 2014). Em cada ponto, amostras simples foram coletadas com trado de aço inoxidável, homogeneizadas para compor amostras compostas representativas de cada unidade amostral.

## 2.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

No laboratório, as amostras foram secas ao ar em temperatura ambiente, destorroadas manualmente e peneiradas em malha de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), conforme procedimentos descritos pela Embrapa (2011). Alíquotas destinadas à análise granulométrica foram passadas em peneira de 2 mm e posteriormente dispersas quimicamente para a determinação da textura.

## 2.4 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO

A análise granulométrica (frações areia, silte e argila) foi realizada pelo método da pipeta, após dispersão química com solução de hexametafosfato de sódio 0,1 mol $L^{-1}$ e hidróxido de sódio 0,1 mol $L^{-1}$, de acordo com a metodologia da Embrapa (2011). Os resultados foram expressos em g $kg^{-1}$.

A densidade do solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico, em amostras indeformadas, coletadas em cilindros metálicos de volume conhecido (KIEHL, 1979). A densidade de partículas (Dp) foi obtida pelo método do balão volumétrico com uso de álcool etílico (EMBRAPA, 2011). A partir desses valores, calculou-se a porosidade total (Pt) pela fórmula:

$$Pt = 1 - Ds/Dp \quad (1)$$

A microporosidade foi determinada pela mesa de tensão a –6 kPa, enquanto a macroporosidade foi calculada pela diferença entre porosidade total e microporosidade (EMBRAPA, 2011). Tais atributos são fundamentais para compreender a capacidade de armazenamento e movimento de água no solo, bem como a aeração, fatores críticos ao crescimento radicular de espécies arbóreas (DEXTER, 2004).

2.5 ANÁLISES QUÍMICAS DO SOLO

O pH foi determinado em água e em solução de KCl 1 mol $L^{-1}$, na proporção 1:2,5 solo:solução. A acidez potencial (H+Al) foi quantificada por extração com solução tampão SMP (Shoemaker–McLean–Pratt). A acidez trocável ($Al^{3+}$) foi medida por titulação após extração com solução de KCl 1 mol $L^{-1}$ (EMBRAPA, 2011).

O cálcio ($Ca^{2+}$), magnésio ($Mg^{2+}$) e potássio ($K^{+}$) trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1 mol $L^{-1}$. $Ca^{2+}$ e $Mg^{2+}$ foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, e o $K^{+}$ por fotometria de chama. O fósforo disponível (P) foi extraído pelo método Mehlich-1 (solução de HCl 0,05 mol $L^{-1}$ + $H_2SO_4$ 0,0125 mol $L^{-1}$) e quantificado por colorimetria usando o método do azul de molibdênio (MURPHY; RILEY, 1962).

A matéria orgânica do solo (MOS) foi estimada a partir do teor de carbono orgânico (Corg), determinado pelo método de Walkley–Black, via oxidação úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico e posterior titulação (NELSON; SOMMERS, 1996).

A soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V%) foram calculadas com base nos valores de $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $K^{+}$ e H+Al, segundo fórmulas descritas em Embrapa (2011). A saturação por alumínio (m%) foi obtida pela relação entre a acidez trocável ($Al^{3+}$) e a CTC efetiva (t).

Esses parâmetros fornecem uma visão abrangente da fertilidade do solo, permitindo avaliar limitações químicas ao crescimento das castanheiras, como acidez elevada, baixa saturação por bases e altos teores de alumínio, condições comuns em solos amazônicos (QUESADA et al., 2012; TANG, 2025).

2.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Os dados obtidos foram submetidos à análise descritiva utilizando o programa Statistica 8.0 (Statsoft Inc., Tulsa, EUA). Para cada variável, foram calculados média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo. A análise descritiva permitiu identificar padrões de variabilidade espacial e diferenças entre as áreas estudadas, fornecendo base para comparações futuras com outros estudos regionais.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

A estatística descritiva dos atributos físicos do solo, incluindo granulometria, macro e microporosidade e porosidade total, é apresentada na Tabela 1, permitindo comparar a magnitude média, a amplitude e a variabilidade dos atributos entre os castanhais avaliados.

A análise granulométrica evidenciou contrastes marcantes entre os dois ambientes estudados.

No Castanhal I (FLONA Tapajós), verificou-se uma distribuição relativamente equilibrada das frações areia, silte e argila, com predomínio de argila (média de 516,5 g $kg^{-1}$), o que caracteriza o solo como de textura argilosa. Já no Castanhal II (RESEX Cajari), a fração areia foi dominante (média de 737,9 g $kg^{-1}$), classificando-o como solo de textura arenosa. Essa distinção tem implicações diretas sobre a dinâmica da água, nutrientes e estabilidade de agregados. Solos argilosos tendem a apresentar maior capacidade de retenção de água e nutrientes, além de favorecerem maior agregação, enquanto solos arenosos se destacam pela maior macroporosidade e drenagem, porém com baixa capacidade de retenção hídrica e menor fertilidade natural (FERREIRA, 2010; DEXTER, 2004).

No Castanhal I, a microporosidade (0,34 $m^3$ $m^{-3}$) e a porosidade total (0,54 $m^3$ $m^{-3}$) foram superiores às observadas no Castanhal II (0,18 e 0,41 $m^3$ $m^{-3}$, respectivamente). Esse resultado está associado ao maior teor de argila e ao acúmulo de matéria orgânica, fatores que contribuem para a formação e estabilização da estrutura do solo (AQUINO et al., 2014). A maior microporosidade favorece a retenção de água e nutrientes, importantes para espécies de porte arbóreo como a castanheira. Em contraste, no Castanhal II houve predomínio da macroporosidade (0,23 $m^3$ $m^{-3}$), típica de solos arenosos. A baixa presença de microporos pode implicar maior vulnerabilidade a déficits hídricos, impactando negativamente o crescimento radicular e a regeneração natural da castanheira, sobretudo em períodos de estiagem, ainda que curtos (LIMA et al., 2024).

Esses resultados corroboram estudos recentes que destacam a forte influência da textura e da estrutura na dinâmica hídrica da Amazônia. Prado et al. (2023) demonstraram que solos mais argilosos da região apresentam maior resiliência frente às variações de precipitação, enquanto áreas arenosas são mais suscetíveis à perda de nutrientes e à lixiviação. Dessa forma, a predominância da textura arenosa no Castanhal II pode representar um fator limitante para a manutenção da produtividade dos castanhais a longo prazo.

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos físicos do solo na camada de 0–20 cm em dois castanhais nativos da Amazônia Oriental, localizados na Floresta Nacional do Tapajós, Pará (Castanhal I), e na Reserva Extrativista Rio Cajari, Amapá (Castanhal II).

| Estatística | Argila | Silte | Areia | Macro | Micro | PT |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $g.kg^{-1}$ | | | $m^3m^{-3}$ | | % |
| Solo - Castanhal I | | | | | | |
| Mínimo | 393.00 | 59.75 | 305.39 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Máximo | 584.50 | 142.17 | 527.60 | 0.28 | 0.42 | 0.65 |
| Média | 516.51 | 101.95 | 381.52 | 0.20 | 0.34 | 0.54 |
| Mediana | 521.25 | 99.47 | 371.94 | 0.20 | 0.35 | 0.55 |
| Desv.Pad.(1 | 38.22 | 17.65 | 42.29 | 0.05 | 0.07 | 0.10 |
| CV%(2) | 7.40% | 17.31% | 11.09% | 24.93% | 21.41% | 20.14% |
| Assimetria | -1.2853 | 0.1765 | 1.6308 | 2.0194 | -3.5004 | -4.2265 |
| Curtose | 2.0286 | -0.3145 | 3.2898 | 7.3278 | 14.8786 | 19.7207 |
| d(3) | 0.007 | 0.69 | 0.001 | 0.75 | 0.33 | 0.81 |
| Solo - Castanhal II | | | | | | |
| Mínimo | 113,5 | 51,68 | 659,3 | 0,1179 | 0,1111 | 0,3491 |
| Máximo | 244,5 | 147,2 | 821,72 | 0,3872 | 0,26 | 0,5075 |
| Média | 178,0667 | 84,0025 | 737,9333 | 0,2298 | 0,1797 | 0,4095 |
| Mediana | 176,25 | 84,62 | 737,11 | 0,225 | 0,1808 | 0,4067 |
| Desv.Pad.(1) | 29,64 | 16,16 | 35,17 | 0,06 | 0,03 | 0,03 |
| CV%(2) | 16,65% | 19,24% | 4,77% | 24,98% | 19,07% | 8,27% |
| Assimetria | 0,1344 | 0,7668 | 0,0425 | 0,341 | -0,061 | 0,5253 |
| Curtose | -0,5515 | 2,9315 | -0,5338 | 0,0674 | -0,5451 | 0,5083 |
| d(3) | 0.79 | 0.01 | 0.75 | 0.43 | 0.67 | 0.15 |

(1)desvio padrão, (2)coeficiente de variação, (3)teste de normalidade.
Fonte: Autores, 2026.

## 3.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

A estatística descritiva dos atributos químicos do solo é apresentada na Tabela 2, com os valores de tendência central, dispersão e amplitude para pH, carbono, nitrogênio, macronutrientes, micronutrientes e alumínio trocável nos dois castanhais.

A análise química revelou contrastes significativos entre as duas áreas. O pH do solo no Castanhal I foi fortemente ácido (média de 4,08), enquanto no Castanhal II foi moderadamente ácido (média de 5,74). Essa diferença é relevante, pois a acidez elevada está diretamente associada à maior solubilidade do alumínio trocável ($Al^{3+}$), elemento tóxico em concentrações elevadas. De fato, o Castanhal I apresentou elevado teor médio de Al (1,59 cmolc $dm^{-3}$), em contraste com o Castanhal II, que exibiu baixos valores (0,05 cmolc $dm^{-3}$). Esse comportamento confirma a relação inversa entre pH e disponibilidade de alumínio, amplamente documentada na literatura (ROCHA et al., 2009; TANG, 2025).

A alta saturação por alumínio no Castanhal I pode restringir o desenvolvimento radicular e reduzir a absorção de cálcio, magnésio e fósforo, nutrientes essenciais ao crescimento da castanheira. Contudo, a espécie apresenta certa tolerância à acidez e ao alumínio, característica adaptativa às condições edáficas da Amazônia (SILVA et al., 2021). Apesar disso, essa tolerância não elimina os efeitos negativos sobre a produtividade, como menor crescimento e redução na produção de frutos.

Quanto aos macronutrientes, observou-se que os teores de cálcio e magnésio foram baixos em

ambas as áreas, embora relativamente superiores no Castanhal II (Ca: 1,21 cmolc dm⁻³; Mg: 0,51 cmolc dm⁻³) em relação ao Castanhal I (Ca: 0,20 cmolc dm⁻³; Mg: 0,22 cmolc dm⁻³). Esses nutrientes estão entre os principais limitantes à produtividade da castanheira em solos amazônicos, uma vez que participam da formação da parede celular, da fotossíntese e do metabolismo energético (TANG, 2025; BUTZKE et al., 2020).

Tabela 2 - Estatística descritiva dos atributos químicos do solo na camada de 0–20 cm em dois castanhais nativos da Amazônia Oriental, localizados na Floresta Nacional do Tapajós, Pará (Castanhal I), e na Reserva Extrativista Rio Cajari, Amapá (Castanhal II).

| Variável | Sítio | Média | Mediana | Valor Minimo | Valor Máximo | Coeficiente de Variação (CV%) | Desvio Padrão |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| pH ($H_2O$) | C - I | 4,08 | 4,08 | 3,76 | 4,51 | 4,41 | 0,18 |
| | C - II | 5,74 | 5,74 | 4,74 | 6,45 | 6,10 | 0,35 |
| C (g $kg^{-1}$) | C - I | 13,90 | 13,35 | 8,78 | 21,71 | 18,99 | 2,64 |
| | C - II | 8,25 | 8,28 | 3,53 | 14,74 | 25,94 | 2,14 |
| N (g $kg^{-1}$) | C - I | 1,16 | 1,13 | 0,86 | 1,70 | 13,79 | 0,16 |
| | C - II | 0,79 | 0,8 | 0,52 | 1,08 | 16,46 | 0,13 |
| P (mg $dm^{-3}$) | C - I | 2,81 | 2,72 | 2,19 | 4,94 | 17,79 | 0,50 |
| | C - II | 3,5 | 3,02 | 2,33 | 9,87 | 41,71 | 1,46 |
| | Cu (mg $dm^{-3}$) | 0,39 | 0,32 | 0,10 | 1,44 | 76,92 | 0,30 |
| | C - I | 1,81 | 1,7 | 0,9 | 4,36 | 32,60 | 0,59 |
| | C - II | | | | | | |
| K (mg $dm^{-3}$) | C - I | 21,57 | 20,00 | 12,00 | 39,00 | 32,55 | 7,02 |
| | C - II | 19,33 | 17 | 10 | 47 | 38,13 | 7,37 |
| Na (mg $dm^{-3}$) | C - I | 3,68 | 3,00 | 1,00 | 10,00 | 53,26 | 1,96 |
| | C - II | 2,96 | 2 | 1 | 31 | 131,42 | 3,89 |
| Zn (mg $dm^{-3}$) | C - I | 0,79 | 0,71 | 0,44 | 1,94 | 35,44 | 0,28 |
| | C - II | 0,767 | 0,6 | 0,22 | 3,7 | 71,71 | 0,55 |
| Mn (mg $dm^{-3}$) | C - I | 3,61 | 2,90 | 0,72 | 13,70 | 80,06 | 2,89 |
| | C - II | 218,31 | 213,81 | 129,55 | 351,16 | 21,40 | 46,72 |
| Ca ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | C - I | 0,20 | 0,13 | 0,05 | 0,98 | 85,00 | 0,17 |
| | C - II | 1,21 | 1,12 | 0,26 | 2,25 | 41,32 | 0,5 |
| Mg ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | C - I | 0,22 | 0,21 | 0,06 | 0,53 | 45,45 | 0,10 |
| | C - II | 0,51 | 0,47 | 0,12 | 1,12 | 43,14 | 0,22 |
| Al ($cmol_c$ $dm^{-3}$) | C - I | 1,59 | 1,65 | 0,72 | 2,31 | 22,01 | 0,35 |
| | C - II | 0,05 | 0 | 0 | 0,61 | 220,00 | 0,11 |
| Fe (mg $dm^{-3}$) | C - I | 224,70 | 226,00 | 44,00 | 375,00 | 23,68 | 53,21 |
| | C - II | 95,11 | 91 | 38 | 153 | 27,15 | 25,82 |

C – I – Castanhal I; C – II – Castanhal II.
Fonte: Autores, 2026.

Os teores de potássio foram semelhantes entre os castanhais (21,6 mg dm⁻³ no C1 e 19,3 mg dm⁻³ no C2), ambos considerados baixos segundo critérios de interpretação de fertilidade para a região amazônica (EMBRAPA, 2011). Esse resultado reforça achados de Guedes et al. (2011), que destacaram o potássio como nutriente chave na regeneração natural da castanheira. Já o fósforo

apresentou comportamento distinto: no Castanhal I, o teor médio foi de 2,8 mg $dm^{-3}$, enquanto no Castanhal II atingiu 3,5 mg $dm^{-3}$, ainda que ambos em níveis limitantes. A baixa disponibilidade de fósforo é característica marcante de solos altamente intemperizados da Amazônia (QUESADA et al., 2012).

Os micronutrientes apresentaram ampla variação entre as áreas. O manganês destacou-se no Castanhal II, com média de 218,3 mg $dm^{-3}$, valor bastante elevado quando comparado ao Castanhal I (3,61 mg $dm^{-3}$). Essa discrepância pode estar relacionada ao material de origem, às condições redox locais e à textura mais arenosa do solo do Castanhal II, que favorece a mobilidade do elemento. De forma semelhante, o ferro apresentou valores mais altos no Castanhal I (224,7 mg $dm^{-3}$) do que no Castanhal II (95,1 mg $dm^{-3}$). Esses resultados sugerem que os micronutrientes estão distribuídos de forma heterogênea, influenciados tanto pelo material de origem quanto pelos processos pedogenéticos, corroborando estudos de Cambardella et al. (1994) e Lima et al. (2024).

## 3.3 VARIABILIDADE ESPACIAL E IMPLICAÇÕES ECOLÓGICAS

Os coeficientes de variação (CV) indicaram elevada heterogeneidade para diversos atributos, especialmente o alumínio no Castanhal II (220%) e o sódio (131%). Essa variabilidade interna pode estar relacionada à microtopografia, à heterogeneidade do material de origem e à dinâmica de decomposição da serapilheira. Em florestas nativas, a variabilidade espacial dos atributos edáficos é um fator intrínseco, que pode afetar o crescimento diferencial de árvores dentro de uma mesma área (CAMBARDELLA et al., 1994; GANDAH et al., 2000).

No caso da castanheira, a heterogeneidade dos atributos edáficos pode explicar parte da variação observada na produtividade de frutos entre indivíduos de uma mesma população, como apontado por Silva et al. (2021). Além disso, essa variabilidade reforça a importância de estratégias de manejo adaptativas, que considerem o mosaico de condições edáficas dentro de cada castanhal.

Outro ponto relevante é a relação entre atributos físicos e a dinâmica da matéria orgânica. No Castanhal I, os maiores teores de carbono (13,9 g $kg^{-1}$) e nitrogênio (1,16 g $kg^{-1}$) estão associados à textura argilosa e maior microporosidade, condições que favorecem o acúmulo e a estabilização da matéria orgânica. Já no Castanhal II, os teores de carbono (8,25 g $kg^{-1}$) e nitrogênio (0,79 g $kg^{-1}$) foram inferiores, o que pode estar relacionado à maior taxa de decomposição e à menor capacidade de proteção da matéria orgânica em solos arenosos (PRADO et al., 2023; EMBRAPA, 2023).

Esses achados têm implicações diretas para a conservação e o manejo dos castanhais. Enquanto o Castanhal I apresenta solos mais férteis e estruturados, porém limitados pela acidez e alumínio, o Castanhal II é caracterizado por solos mais arenosos, com menor capacidade de retenção de nutrientes, ainda que com menores teores de alumínio. Ambos os ambientes impõem restrições ao crescimento e à regeneração da castanheira, exigindo práticas de manejo específicas para mitigar essas limitações.

### 3.4 IMPLICAÇÕES PARA O MANEJO E CONSERVAÇÃO DA CASTANHEIRA

A caracterização dos atributos físicos e químicos dos solos sob os castanhais estudados fornece subsídios relevantes para estratégias de manejo sustentável. No Castanhal I, práticas como a calagem podem reduzir a saturação por alumínio e elevar a disponibilidade de cálcio e magnésio, melhorando as condições para o crescimento radicular. Já no Castanhal II, práticas voltadas para aumentar o teor de matéria orgânica, como o aporte de resíduos vegetais e a adoção de sistemas agroflorestais, podem melhorar a retenção de nutrientes e a estabilidade estrutural do solo.

Além disso, o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos edáficos permite identificar áreas mais propícias à regeneração natural, orientando práticas de enriquecimento florestal e conservação. Tais medidas são particularmente importantes em um contexto de mudanças climáticas, no qual a resiliência dos castanhais dependerá da interação entre fatores edáficos e climáticos (QUESADA et al., 2012; SILVA et al., 2021).

## 4 CONCLUSÕES

A caracterização física e química dos solos sob os dois castanhais nativos revelou diferenças marcantes entre os ambientes avaliados, que têm implicações diretas para o crescimento e a regeneração da castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa*). No Castanhal I (FLONA Tapajós), o solo apresentou textura argilosa, maiores teores de carbono e nitrogênio, maior microporosidade e porosidade total, condições que favorecem a retenção de água e nutrientes. Entretanto, a elevada acidez e a alta saturação por alumínio configuram limitações relevantes para o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes básicos, como cálcio, magnésio e fósforo.

Já no Castanhal II (RESEX Cajari), a textura arenosa e a predominância de macroporos conferem maior drenagem e menor capacidade de retenção hídrica, além de menores teores de matéria orgânica, carbono e nitrogênio. Apesar disso, os solos apresentaram menor acidez e baixos teores de alumínio trocável, condições relativamente menos restritivas do ponto de vista químico.

Esses resultados evidenciam que a castanheira se desenvolve sob condições edáficas contrastantes, mas enfrenta limitações específicas em cada ambiente. No Castanhal I, a restrição é essencialmente química, enquanto no Castanhal II prevalecem limitações físicas e de baixa fertilidade. A heterogeneidade espacial observada em diversos atributos reforça a importância de análises locais e detalhadas, de modo a subsidiar estratégias de manejo adaptadas a cada realidade edáfica.

Assim, este estudo contribui para a compreensão das relações entre solos e castanheira na Amazônia Oriental, oferecendo subsídios científicos para práticas de manejo, conservação e incremento da produtividade em castanhais nativos.

## RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Com base nos resultados e nas lacunas identificadas, recomenda-se que futuras pesquisas e ações de manejo avancem em algumas direções:

1. Monitoramento de longo prazo – Estudos contínuos em diferentes estações do ano podem esclarecer melhor a influência da sazonalidade na disponibilidade de água e nutrientes, especialmente em solos arenosos mais suscetíveis a variações climáticas.
2. Integração solo–planta – Avaliações conjuntas do crescimento da castanheira, da produção de frutos e dos atributos edáficos permitirão identificar de forma mais precisa quais fatores do solo estão mais diretamente associados ao desempenho da espécie.
3. Ensaios de manejo edáfico – Experimentos envolvendo calagem, adubação fosfatada e práticas de incremento de matéria orgânica (como uso de leguminosas de cobertura ou adubação verde) podem testar estratégias de mitigação das limitações químicas e físicas observadas.
4. Variabilidade espacial – Aplicação de técnicas de geoestatística e sensoriamento remoto pode aprofundar a análise da heterogeneidade edáfica, permitindo mapeamento detalhado e manejo localizado.
5. Aspectos socioeconômicos e de conservação – Estudos interdisciplinares que relacionem práticas de manejo do solo, conservação da castanheira e geração de renda para comunidades extrativistas são fundamentais para fortalecer modelos de uso sustentável em áreas protegidas.
6. Mudanças climáticas – Investigações que considerem a resiliência da castanheira frente a cenários de aumento da variabilidade climática podem orientar políticas de conservação e manejo adaptativo em nível regional.

## REFERÊNCIAS

AQUINO, R.E.; CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, I.A.; MARQUES JUNIOR, J.; SILVA, D.M.P.; SILVA, D.A.P. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. Biosci. J., Uberlandia, v. 30, n. 4, p. 988-997, July/Aug. 2014a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Brasília: MMA, 2008.

BUTZKE, A. G.; DE OLIVEIRA, T. K.; BRAGA DE PAULA, A. E.; FIUZA, S. da S. Fertilidade e carbono orgânico do solo em sistemas agroflorestais de duas décadas compostos de castanheira, cupuaçuzeiro e pupunheira na Amazônia Ocidental. Científica, Dracena, SP, v. 48, n. 2, p. 160–169, 2020. DOI: 10.15361/1984-5529.2020v48n2p160-169. Disponível em: http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/1236 . Acesso em: 16 set. 2025.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F. & KONOPKA, A. E. Fieldscale variability of soil properties in Central Iowa Soils. Soil Science Society of America Journal, 58:1501-1511, 1994. https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x

PRADO, J.; ALVARENGA, P.; RIBEIRO, H.; FANGUEIRO, D. Nutrient Potential Leachability in a Sandy Soil Amended with Manure-Based Fertilisers. *Agronomy* 2023, *13*, 990. https://doi.org/10.3390/agronomy13040990 .

SOUZA, I.M.D.; SAGRILO, E.; DE OLIVEIRA JÚNIOR, J.O.L.; ARAÚJO, M.D.M.; MUNIZ, L.C.; COSTA, J.B.; POMPEU, R.C.F.F.; DE SOUSA, D.C.; DE ANDRADE, H.A.F.; DE OLIVEIRA NETO, E.D.; et al. Soil Chemical Quality in Integrated Production Systems with the Presence of Native and Exotic Tree Components in the Brazilian Eastern Amazon. *Forests* 2024, *15*, 1078. https://doi.org/10.3390/f15071078

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004

SOCIOAMBIENTAL. RESEX do Rio Cajari. In: *Unidades de Conservação no Brasil* — Plataforma. Disponível em: https://uc.socioambiental.org/arp/627 . Acesso em: 16 set. 2025.

EMBRAPA. Castanheira-da-Amazônia mostra eficiência na recuperação de solos degradados. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2023. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/83409267/brazil-nut-tree-shows-efficiency-in-recovering-degraded-soils . Acesso em: 16 set. 2025.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2011.

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. In: JONG van LIER, Q. (ed.) Física do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 298p. 2010.

GANDAH, M. et al. Dynamics of spatial variability of millet growth and yields at three sites in Niger, west Africa and implications for precision agriculture research. Agricultural Systems, Oxon, v.63, n.2, p.123-140, 2000. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00076-1

GUEDES, M. C.; NEVES, E. de S.; COSTA, J. B. P. Brazil nut (Bertholletia excelsia bonp.) regeneration growth in a fallow area in relation to soil fertility and secondary forest serial stage. Resumo em Anais de Congresso. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ECOLOGIA, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCar, 2011. p. 631-636. 2011.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia: relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.

LIMA, A.F.L.D.; CAMPOS, M.C.C.; SILVA, J.D.B.; ARAÚJO, W.D.O.; MANTOVANELLI, B.C.; SOUZA, F.G.D.; BEIRIGO, R.M.; SILVA, D.M.P.D.; MACEDO, R.S.; OLIVEIRA, F.P.d. The Stability of Aggregates in Different Amazonian Agroecosystems Is Influenced by the Texture, Acidity, and Availability of Ca and Mg in the Soil. *Agronomy* 2024, *14*, 677. https://doi.org/10.3390/agronomy14040677

LOCATELLI, M.; VIEIRA, A.H.; GAMA, M. de M. B. Aspectos do Cultivo da castanha-do-Brasil em Rondônia. Rondônia: Embrapa, (Sistema de produção, 7). 2005.

MELO, V. S.; ORRUTÉA, A.G.; MOTTA, A.C.V.; TESTONI, S.A.et al. Land use and changes in soil morphology and physical–chemical properties in southern Amazon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 41, e0160152, 2017. https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170034

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, v. 27, p. 31-36, 1962.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: SPARKS, D. L. (Ed.). *Methods of Soil Analysis*. Madison: ASA/SSSA, 1996. p. 961-1010. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34

NEVES, E.S., Regeneração natural e interação do crescimento inicial da castanheira da Amazônia (Bertholletia excelsa bonpl.) com atributos do solo e luz/ Ezaquiel de Souza Neves; Orientador Marcelino Carneiro Guedes. Macapá; Il. Monografia.(Graduação em Engenharia Florestal) − Universidade do Estado do Amapá. 38 p 2010.

OLIVEIRA, L. C., Efeito da exploração da madeira e de diferentes intensidades de desbastes sobre a dinâmica da vegetação de uma área de 136 ha na Floresta Nacional do Tapajós. Tese (Doutorado) – ESALQ, Piracicaba, p. 183. 2005.

Quesada, C. A., Phillips, O. L., Schwarz, M., Czimczik, C. I., Baker, T. R., Patiño, S., Fyllas, N. M., Hodnett, M. G., Herrera, R., Almeida, S., Alvarez Dávila, E., Arneth, A., Arroyo, L., Chao, K. J., Dezzeo, N., Erwin, T., di Fiore, A., Higuchi, N., Honorio Coronado, E., Jimenez, E. M., Killeen, T., Lezama, A. T., Lloyd, G., López-González, G., Luizão, F. J., Malhi, Y., Monteagudo, A., Neill, D. A., Núñez Vargas, P., Paiva, R., Peacock, J., Peñuela, M. C., Peña Cruz, A., Pitman, N., Priante Filho, N., Prieto, A., Ramírez, H., Rudas, A., Salomão, R., Santos, A. J. B., Schmerler, J., Silva, N., Silveira, M., Vásquez, R., Vieira, I., Terborgh, J., and Lloyd, J.: Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate, Biogeosciences, 9, 2203–2246, https://doi.org/10.5194/bg-9-2203-2012 , 2012 .

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F.; KER, J.C. Pedologia: base para distinção de ambientes. 6. ed. Lavras: UFLA, 2014.

ROCHA, M.J.R.; MARTINS, C.A.S.; SILVA, A.G.; NAPPO, M.E. AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM SOLO SOB FLORESTA ATLÂNTICA NA FAZENDA SANTA RITA, FARIA LEMOS, MG In: XIII Encontro Latino de Iniciação Científica, IX Encontro Latino Americano de Pós Graduação e III Encontro Latino de Iniciação Científica Junior; São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba; 2009.

SALOMÃO, R. P., A castanheira: história natural e importância socioeconômica. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat., Belém, v. 9, n. 2, p. 259-266, maio-ago. 2014.

SILVA, C.S.; SILVA, L.M.; WADT, L.H.O.; MIQUELONI, D.P.; SILVA, K.E.; PEREIRA, M.G. Soil classes and properties explain the occurrence and fruit production of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in the Amazon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 45, e0200188, 2021. DOI: 10.36783/18069657rbcs20210001

Tang, L. Soil Fertility, Plant Nutrition and Nutrient Management. *Plants* 2025, *14*, 34. https://doi.org/10.3390/plants14010034

VIEIRA, S. R. Geoestatistica em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais et al, eds. 2000. 54p