

Aproveitamento de resíduos urbanos ricos em cálcio como corretivos de sodicidade do solo no Semiárido Nordeste

Use of urban waste rich in calcium as soil sodicity correctives in the semiarid Northeast

Uso de residuos urbanos ricos en calcio como correctores de la sodicidad del suelo en el Nordeste Semiárido

Recebido: 31/01/2025 | Revisado: 14/02/2025 | Aceitado: 15/02/2025 | Publicado: 19/02/2025

Carlos Vergara

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9002-0934>
Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil
Faculdade de Ciências Agrárias de Arapipina, Brasil
E-mail: vergaramaputo93@gmail.com

Karla Emanuelle Campos Araujo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8932-2775>
Faculdade de Ciências Agrárias de Arapipina, Brasil
E-mail: karlaeca@gmail.com

Anderson Silva dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2546-2676>
Faculdade de Ciências Agrárias de Arapipina, Brasil
E-mail: andersonsantos2987@gmail.com

Alexandre Augusto Alencar De Souza Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0925-8577>
Faculdade de Ciências Agrárias de Arapipina, Brasil
E-mail: alexandreagusto4@gmail.com

Atanael Pereira Santos

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6361-6928>
Faculdade de Ciências Agrárias de Arapipina, Brasil
E-mail: Atanaelpsantos@outlook.com

Marina Souza Pereira Matos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2404-7212>
Instituto Federal Sertão Pernambucano, Brasil
E-mail: Marina.souza@aluno.ifsertao-pe.edu.br

Graciene de Souza Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2157-8269>
Instituto Federal Sertão Pernambucano, Brasil
E-mail: graciene.silva@ifsertao-pe.edu.br

Thiago de Castro Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5582-0448>
Faculdade de Ciências Agrárias de Arapipina, Brasil
E-mail: thiagocastroribeiro10@gmail.com

João Marinaldo Andrade Pereira Batista

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5209-7324>
Faculdade de Ciências Agrárias de Arapipina, Brasil
E-mail: joamarinaldo2015@gmail.com

Lucas Rodrigues Bezerra da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4819-2710>
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
E-mail: lucas.silva95234@alunos.ufersa.edu.br

Resumo

Ainda é rara a literatura que tenta mitigar a sodicidade do solo com resíduos sólidos ricos em cálcio. Este estudo objetivou, pois, corrigir a sodicidade do solo com resíduos sólidos urbanos ricos em cálcio, bem como avaliar o crescimento de plantas de arroz em solo tratado com pó de placas-de-gesso. Um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com problemas de sodicidade, foi coletado no perímetro irrigado de Lagoa do Barro (Arapipina, Pernambuco, Brasil), e tamisado. Resíduos sólidos foram também secos, finamente triturados e peneirados. Ensaio preliminar foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 8x6: oito doses e seis corretivos químicos em quatro repetições. Condutividade elétrica (CE), pH e saturação por sódio (%Na) do solo foram avaliados após a lavagem do solo com 100 mL de água destilada. Em outro experimento, em que os tratamentos consistiram de doses de placas-de-gesso, indicadores de crescimento e macronutrientes foram avaliados em plantas de arroz que haviam sido cultivadas em condições de campo por até 42 dias após a germinação. Ao contrário da casca-de-ovo e da dose 0 kg ha⁻¹, que turvaram seus lixiviados, todos os demais resíduos elevaram a CE, reduziram

o pH e a %Na, e desenturvaram o lixiviado. Doses 15.722, 20.000 e 28.000 kg ha⁻¹ de placas-de-gesso incrementaram indicadores de crescimento e macronutrientes em plantas de arroz. Estes resultados indicam que resíduos de gesso e casca-de-ovo corrigem a sodicidade do solo, em especial quando combinados com resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil, favorecendo o crescimento de plantas de arroz.

Palavras-chave: Sódio; Gesso; *Oryza Sativa* L.; Casca de ovo; Resíduos sólidos.

Abstract

There is still a scarcity of literature that attempts to mitigate soil sodicity with solid waste rich in calcium. This study aimed to correct soil sodicity with urban solid waste rich in calcium, as well as to evaluate the growth of rice plants in soil treated with gypsum boards powder. A Ferralsol with sodicity problems was collected in the irrigated perimeter of Lagoa do Barro (Araripina, Pernambuco, Brazil) and sieved. Solid waste was also dried, finely crushed and sieved. A preliminary experiment was conducted in a completely randomized design, in an 8x6 factorial rearrangement: eight doses and six chemical amendments in four replicates. Electrical conductivity (EC), pH and sodium saturation (%Na) of the soil were evaluated after washing the soil with 100 mL of distilled water. In another experiment, in which the treatments consisted of doses of gypsum boards powder, growth indicators and macronutrients were evaluated in rice plants that had been grown under field conditions for up to 42 days after germination. Unlike eggshell and the 0 kg ha⁻¹ dose, which turbidized their leachate, all other residues raised the EC, reduced the pH and %Na, and unturbidized the leachate. Doses of 15,722, 20,000 and 28,000 kg ha⁻¹ of gypsum boards powder increased growth indicators and macronutrients in rice plants. These results indicate that gypsum residues and eggshell correct soil sodicity, especially when combined with urban pruning residues of Brazilwood, favoring the growth of rice plants.

Keywords: Sodium; Gypsum; *Oryza Sativa* L.; Eggshell; Solid residue.

Resumen

La literatura que intenta mitigar la sodicidad del suelo con residuos sólidos ricos en calcio aún es escasa. Por tanto, este estudio tuvo como objetivo corregir la sodicidad del suelo con residuos sólidos urbanos ricos en calcio, así como evaluar el crecimiento de las plantas de arroz en suelos tratados con polvo de placas de yeso. Un Latosol distrófico Rojo-Amarillo, con problemas de sodicidad, fue recolectado en el perímetro irrigado de Lagoa do Barro (Araripina, Pernambuco, Brasil), y tamizado. Los residuos sólidos también se secaron, trituraron finamente y tamizaron. Las pruebas preliminares se realizaron en un diseño completamente al azar, en arreglo factorial 8x6: ocho dosis y seis correctivos químicos en cuatro repeticiones. La conductividad eléctrica (CE), el pH y la saturación de sodio (%Na) del suelo se evaluaron después de lavar el suelo con 100 mL de agua destilada. En otro experimento, en el que los tratamientos consistieron en dosis de polvo de placas de yeso, se evaluaron indicadores de crecimiento y macronutrientes en plantas de arroz que habían sido cultivadas en condiciones de campo hasta 42 días después de la germinación. A diferencia de la cáscara de huevo y la dosis de 0 kg ha⁻¹, que enturbiaron el lixiviado, todos los demás residuos elevaron la CE, redujeron el pH y el %Na y limpiaron el lixiviado. Dosis de 15.722, 20.000 y 28.000 kg ha⁻¹ de polvo de placas de yeso incrementaron los indicadores de crecimiento y macronutrientes en plantas de arroz. Estos resultados indican que los residuos de yeso y cáscara de huevo corrigen la sodicidad del suelo, especialmente cuando se combinan con residuos de poda urbana de Pau-Brasil, favoreciendo el crecimiento de las plantas de arroz.

Palabras clave: Sodio; Yeso; *Oryza Sativa* L.; Cáscara de huevo; Residuos sólidos.

1. Introdução

Mesopotâmia e vale Tigre-Eufrates, sociedades agrícolas bem sucedidas no passado, colapsaram ainda na antiguidade devido ao excessivo uso da irrigação sob solos com drenagem limitada. O manejo inadequado destas práticas (da irrigação e drenagem) fazia com que a drenagem atuasse como conduíte do sal, conduzindo-o, do lençol freático para perfil do solo, e salinizando o solo. Nas sociedades modernas, mais de 45 milhões de hectares irrigados estão já afetados por sais. Na Índia, por exemplo, 20 a 40 % das terras irrigadas (ao longo dos canais Sharda Sahoyak e Indira Gandhi Nahar) tornaram-se desérticas, isto é improdutivas, em apenas 30 anos, em decorrência do afloramento do lençol freático contendo água salobra (Gelburd, 1985; Singh, 2009).

Em 2015, a desertificação reduziu a produtividade da pedosfera em 9,2%, e afetou cerca de 500 milhões de pessoas no planeta, impactando a produção agrícola, principalmente em regiões da Ásia, África e Oriente Médio. Isso se refletiu em insegurança alimentar e imigração. Devido à escassez de terras férteis e a irregulares das chuvas, pessoas vem imigrando, por exemplo, do noroeste da Gana e México para outras partes do mundo. No México, aproximadamente 900 mil pessoas deixam áreas áridas e semiáridas anualmente, principalmente com destino aos Estados Unidos (Fust, 2021; Leighton et al., 1994; Shukla et al., 2019).

Em áreas suscetíveis à desertificação, a salinização do solo, ou melhor, o acúmulo excessivo de sais, principalmente de sódio, que aumenta o potencial osmótico e alcaliniza o solo, é considerada como o processo que mais contribui para a deterioração da estrutura do solo (Castro & Santos, 2020; Lepsch, 2021).

A salinização do solo pode deflagrar-se naturalmente ou mediante a ação de fatores antrópicos. Naturalmente é a através do intemperismo das rochas, das partes mais altas, transporte do sal para o lençol freático, capilarização da água salobra em direção à superfície do solo, e a formação de eflorescências salinas (brancas ou negras). Dentre os fatores antrópicos, pode citar-se o manejo inadequado da irrigação e drenagem, da fertirrigação, dos fertilizantes e o desmatamento, o que favorece, em última instância, o acúmulo de sais e degradação do solo (Allbed & Kumar, 2013; Castro & Santos, 2020). Se a irrigação de um hectare de solo com 10 mil m³ de água de boa qualidade já adiciona ao perfil do solo cerca de 1 a 10 toneladas de sal, imagine agora quanto adicionaria, ao solo, uma irrigação com mesma quantidade de água, só que não mais água de boa qualidade, mas sim água salobra, em condições de clima semiárido (sertão nordestino e pantanal mato-grossense, por exemplo) – onde a evapotranspiração supera a precipitação e, por consequência, impossibilita a percolação da água e a lixiviação dos sais através do perfil do solo. É por isso mesmo que estes ambientes tende a acumular muito sal, seja este vindo da água de irrigação ou do lençol freático, o qual contém cátions como Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺ e ânions como Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ e CO₃²⁻, liberados de minerais predominantemente plagioclásios (Lepsch, 2021; Marschner, 2011; M. R. Ribeiro et al., 2016).

Não é por acaso, pois, que 50% das terras irrigadas do planeta relatem problemas de salinidade, em países como Brasil, Argélia e Tunísia, por exemplo, impactando negativamente a produção de alimentos no mundo. No Nordeste Brasileiro, 25% dos solos irrigados estão já afetados por sais e sódio (Afrasinei et al., 2017; Goes, 1978; Singh, 2015). A título de exemplo, pode citar-se Lagoa do barro, um distrito do município de Araripina, no estado de Pernambuco, Brasil, onde um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico se tornou solódico (*Tabela 1*) por causa da irrigação do tomate com água de baixa qualidade. E, se esse manejo não for corrigido a tempo, pode ser que este solo venha a evoluir, num futuro vindouro, a um solo sódico.

Araripina juntamente com Trindade, Bodocó, Ipubi e Ouricuri compõem o polo gesseiro, o qual responde por 89% da produção brasileira de gesso, 1,45 milhões de toneladas de gesso, e, obviamente, também por grande geração de resíduos de gesso, que podem chegar a 30% na indústria brasileira de construção civil. A disposição inadequada destes resíduos acarreta problemas ambientais (formação de sulfeto de hidrogênio, um gás tóxico e inflamável) e a alteração da composição química dos solos e das águas (Alencar et al., 2011; Cardoso et al., 2009).

Por isso alguns poucos trabalhos, mas muito poucos trabalhos mesmo, começaram a testar refugos de gesso da obra, como melhoradores de lixiviação de sais e sódio em solos das regiões semiáridas (Souza Cavalcanti et al., 2018; Santos et al., 2014). Os autores examinaram o efeito de um único resíduo de gesso no solo; contudo, o Polo Gesseiro conta com ao menos três diferentes resíduos de gesso, e há de convir-se que há outros resíduos ricos em cálcio na região, tal qual a casca-de-ovo. Em 2021, produziu-se mais de 6,4 milhões de cascas-de-ovo, os quais têm sido testados como controladores do fundo-preto do tomate (Vergara, Araujo, Santos, et al., 2024), como neutralizadores de alumínio (Galvão et al., 2020), mas ainda não como corretivos de sodicidade. Para além disso, no solo corrigido por esses autores, nem o crescimento, nem a produção da planta foi medido, o que dá margem a uma série de especulações a respeito do efeito do corretivo de sodicidade testado. Por exemplo: ao corretivo de sodicidade, como responderiam culturas de interesse econômico regional? Como se vê, há ainda muitas lacunas a serem preenchidas.

É sob este panorama que este trabalho insere mais hipóteses: (i) placas-de-gesso, borra-de-gesso e casca-de-ovo corrigem a sodicidade do solo?; (ii) Resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil aumentam a solubilidade de corretivos de sodicidade?; (ii) A correção de sodicidade com pó de placas-de-gesso afeta o crescimento do arroz – glicófita de importância mundial? Para redarguir a tais hipóteses, sódio, pH e condutividade elétrica (CE) foram medidos em Latossolo Vermelho-

Amarelo distrófico com problemas de sodicidade. Adicionalmente, indicadores de crescimento e macronutrientes foram também mensurados em plantas de arroz. Este estudo objetivou corrigir a sodicidade do solo com resíduos sólidos urbanos ricos em cálcio, bem como medir o crescimento de plantas de arroz em solo tratado com pó de placas-de-gesso.

2. Metodologia

Solo solódico

Realizou-se pesquisa experimental de natureza mista, parte laboratorial e parte em campo, seguindo metodologias de pesquisas propostas por Pereira et al. (2018), Shitsuka (2014) e Vieira (2021). Nos experimentos, foi utilizado, como solo solódico, um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2018). Este solo foi coletado às margens da área de plantação de tomate, na camada de 0-20 cm, em julho de 2022 (*Tabela 1*), no perímetro irrigado de Lagoa Do Barro, município de Araripina (Pernambuco, Brasil): 7°46'10,5" Sul; 40°22'40,1" Oeste; 507 m de altitude. Araripina é uma das cidades do Polo Gesseiro. Seu clima é BSwH, de acordo com Köppen-Geiger (Araujo, 2004; Damasceno, 2020; Vergara, Araujo, Santos, et al., 2024). As amostras coletadas foram secas à sombra, destorroadas e peneiradas na peneira ABNT nº 10. Suas características químicas, em 2024, ano da publicação deste artigo também se encontram na *Tabela 1*.

Tabela 1 - Características químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, do distrito de Lagoa de Barro, município de Araripina, Pernambuco.

| Profundidade | pH (H ₂ O) | CE | MO | P | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | H+Al | Al ⁺³ | %Na |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------|-----------------|------------------------------------|------------------|------|------------------|------|
| cm | | dS m ⁻¹ | g kg ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | ----- | | cmol _c kg ⁻¹ | ----- | | | |
| julho de 2022 | | | | | | | | | | | |
| 0-20 | 6.2 | - | 0.9 | 108 (Resina) | 0.28 | 0.59 | 4.5 | 1.2 | 0.9 | 0 | 7.83 |
| agosto de 2024 | | | | | | | | | | | |
| 0-10 | 7.08 | 1.48 | 26.35 | 17.91 (Mehlich-1) | 1.57 | 0.80 | 4.46 | 0.27 | 1.12 | 0 | 9.74 |
| 10-20 | 6.85 | 0.92 | 25.06 | 5.71 (Mehlich-1) | 0.49 | 0.50 | 4.27 | 0.34 | 0.92 | 0 | 7.66 |
| 20-50 | 6.78 | 0.89 | 29.95 | 2.61 (Mehlich-1) | 0.31 | 0.60 | 4.13 | 0.88 | 0.69 | 0 | 9.15 |
| 80+ | 7.34 | 0.76 | 26.27 | 5.26 (Mehlich-1) | 0.39 | 0.62 | 3.85 | 0.63 | 1.42 | 0 | 8.95 |

Fonte: Autoria própria.

Correção de sodicidade do solo com resíduos sólidos urbanos

O referido Latossolo foi depois pesado e acomodado em um filtro de papel (unidade experimental) que se encontrava sustado sobre as paredes de um vaso plástico, de 250 mL (*Figura 1*). Cada filtro recebeu 50 g do solo. Os tratamentos assomaram-se da combinação de dois fatores: 6 corretivos de solos (gesso mineral; gesso mineral mais resíduos de poda; placas-de-gesso; borra-de-gesso; casca-de-ovo; e casca-de-ovo mais resíduos de poda) em 8 crescentes doses (0; 7.861; 15.722; 20.000; 28.000; 110.000; 220.000; 440.000 kg ha⁻¹; ou em g kg⁻¹: 0; 3,57; 7,15; 9,09; 12,73; 50; 100; 200) de cada corretivo. Aos tratamentos acrescidos de resíduos de poda, 0,0068 g de resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil finamente triturados foram adicionados por vaso. Antes do início do ensaio, todos resíduos foram, de uma só vez, completamente misturados com o solo, por unidade experimental. Os tratamentos com resíduos de poda foram também previamente incubados por 7 dias, com a umidade sendo sempre mantida na capacidade de campo com a adição de 20 mL de água destilada, com objetivo de se obter o efeito da decomposição da massa vegetal. Ao cabo disso, foi instalado o ensaio em delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições no Laboratório da Faculdade de Ciências Agrárias de Araripina (FACIAGRA), Araripina, PE. Todos os vasos

foram posteriormente umedecidos com 20 mL de água destilada e deixados em repouso por 30 minutos. Após esse período, 80 mL de água destilada foram novamente adicionados em cada vaso, totalizando uma lâmina de lixiviação de 100 ml (Musson et al., 2008; Pampolino & Hatano, 2000). Quando a lixiviação cessou, dez gramas de solo foram retirados e homogeneizados com 50 mL de água-destilada. A mistura obtida foi filtrada em filtro de papel. No extrato de solo (1:5) resultante, foram medidos o pH e a condutividade elétrica. Do remanescente solo, que foi seco ao ar, destorroado e peneirado, determinou-se o sódio (Na). A coleta e o preparo dos resíduos de gesso e dos de poda se encontra descrita em Vergara, Araujo, Pereira, et al. (2024); da casca-de-ovo em Vergara, Araujo, Santos, et al. (2024). A borra-de-gesso é um resíduo produzido pela rotina das fábricas de placas: na armazenagem e transporte de sacos de gesso em pó; na mistura de gesso, com a água; e no acabamento de placas-de-gesso, etc.

Resposta de plantas de arroz à sodicidade do solo

A unidade experimental neste caso foi um vaso de aproximadamente dois litros. Cada unidade experimental recebeu um quilo de Latossolo solódico. A recuperação do solo solódico se deu com incorporação do pó de placas-de-gesso. Após gessagem com placas-de-gesso, o solo foi umedecido com 200 mL de água-corrente, incubado a temperatura ambiente por 30 minutos e, posteriormente, lavado com 400 mL de água-corrente. Os tratamentos utilizados no experimento foram os seguintes: 0 (solo não-manejado; ou solo lavado com 400 mL de água-corrente); 7.861; 15.722; 20.000; 28.000; 110.000; 220.000; 440.000 kg de pó de placas-de-gesso ha⁻¹ – ou 0; 3,57; 7,15; 9,09; 12,73; 50; 100; 200 g kg⁻¹ de solo (*Figura 5*). Três dias após a lavagem do solo, leu-se a CE (*Figura 7A*) e o pH (*Figura 7B*) do solo, em cada vaso, por meio de um extrato de solo 1:5. Depois, adubou-se cada quilo de solo com o equivalente a 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio (0,27 g de ureia vaso⁻¹), a 30 kg de P₂O₅ (0,33 g de superfosfato simples vaso⁻¹), a 30 kg de K₂O (0,1 g de cloreto de potássio vaso⁻¹), a 30 kg de micronutriente (0,06 g de F.T.E. BR 12 vaso⁻¹), de acordo com manual de adubação do estado Pernambuco (Cavalcanti, 2008). Cada vaso recebeu, em seguida, quatro plântulas de arroz, da variedade Piauí, com o mesmo tamanho, que haviam sido pré-germinadas apenas com água destilada, nas condições de laboratório, por um período de oito dias. Piauí é uma variedade do estado de Maranhão-Brasil, cultivada em sistemas de baixo aporte de N. Ela tem um k_m de absorção de nitrato muito baixo (sobretudo quando se encontra em interação com fungos endofíticos dark septate), e alta taxa de remobilização de N (Vergara, Araujo, Alves, et al., 2018; Vergara, Araujo, Sperandio, et al., 2019). O experimento, foi ao final, organizado e conduzido em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, no campo experimental da FACIAGRA, Araripina, PE. A umidade do solo foi sempre mantida próxima à capacidade de campo com água corrente. Aos 42 dias após germinação (DAG), plantas do arroz foram coletadas medindo-se os seguintes indicadores de crescimento: massa seca (60 °C por 72h) da raiz, da bainha, da folha e da parte aérea, altura da planta, número de folhas, diâmetro da bainha, volume e comprimento radicular. Determinou-se também a concentração e o conteúdo de macronutrientes conforme Vergara, Araujo, Urquiaga, et al. (2018).

Estatística

A homocedasticidade (teste Bartlett; $p > 0,05$), normalidade (teste Shapiro-Wilk; $p > 0,05$), aditividade (teste Tukey; $p > 0,05$) e outliers, todos estes requisitos foram inspecionados em cada variável, antes de se proceder à análise de variância. Após isso, níveis do fator dose foram comparados com regressão, e os níveis do fator corretivo, com teste Tukey ($p < 0,05$). Todos dados foram analisados no *software* R-project versão 3.4.1 (Team, 2023). E os resultados são apresentados como média \pm erro padrão.

3. Resultados

Correção de sodicidade do solo com resíduos sólidos urbanos

Tratamentos sem gesso, ou com apenas casca-de-ovo, ou as doses entre 7.861 e 20.000 kg ha⁻¹ de casca-de-ovo acrescidas por resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil turvaram o lixiviado (*Figura 1A*); demais tratamentos produziram lixiviado cristalino (*Figura 1B*).

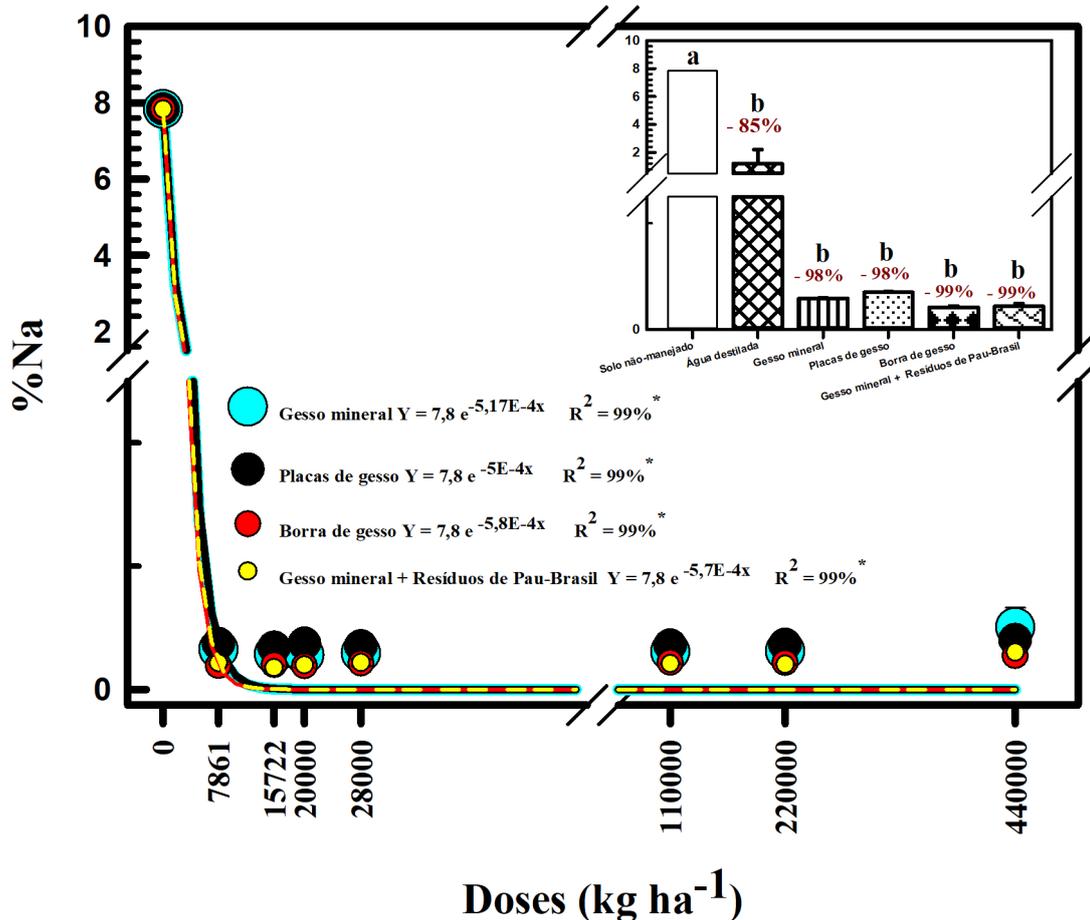
Figura 1 - Turbidez do lixiviado nos tratamentos sem gesso, nos tratamentos com apenas casca-de-ovo, e entre as doses 7.861 e 20.000 kg ha⁻¹ de casca-de-ovo acrescidas por resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil (**A**); limpidez dos tratamentos com gesso mineral, resíduos de gesso (placas-de-gesso e borra-de-gesso), e doses 28.000, 110.000, 220.000 e 440.000 kg ha⁻¹ de casca-de-ovo acrescidas por resíduos de Pau-Brasil (**B**).



Fonte: Autoria própria.

Pó de placas-de-gesso, borra-de-gesso, ou gesso mineral com e sem resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil, que haviam desenturvado o lixiviado (*Figura 1*), diminuíram a saturação por sódio (%Na) do Latossolo, de quase 8% a praticamente 0% (*Figura 2*), em apenas 30 minutos de incubação do solo. A lavagem do solo com apenas água-destillada reduziu o sódio em 85%; placas-de-gesso removeram 98% do sódio; borra-de-gesso, ou gesso mineral acrescido por resíduos de Pau-Brasil, 99%.

Figura 2 - Saturação por sódio (%Na) de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico não-manejado (isto é, com problemas de sodicidade), ou lavado com 100 mL de água-destilada, ou recuperado com 7.861; 15.722; 20.000; 28.000; 110.000; 220.000; ou 440.000 kg ha⁻¹ de gesso mineral (com ou sem resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil), ou de resíduos de gesso (placas-de-gesso ou borra-de-gesso) no Polo Gesseiro Pernambucano. Na curva de regressão, a dose 0 kg ha⁻¹ representa o solo não-manejado. O asterisco (*) indica modelos de regressão significativos (teste F; p<0,05). Barras de erro representam o erro padrão da média (n = 4).



Fonte: Autoria própria.

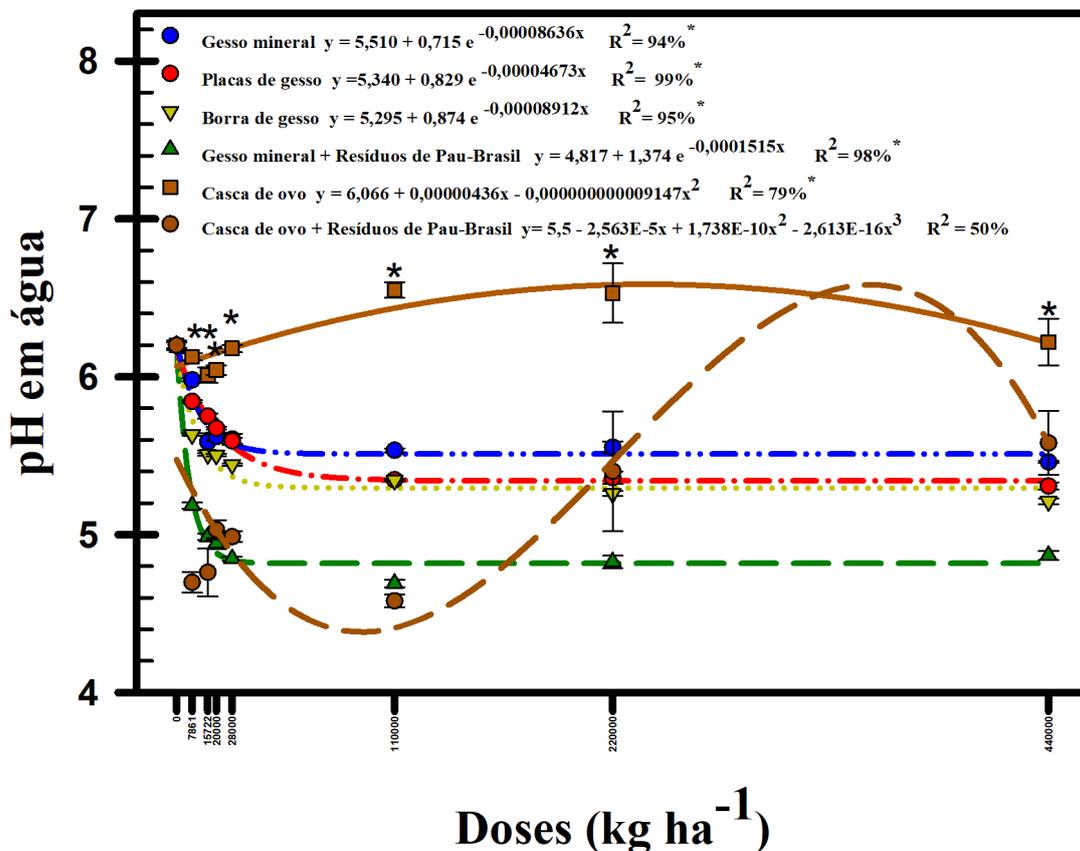
Esta figura mostra que resíduos de gesso podem ser usados como corretivos de sodicidade em Latossolos do semiárido nordestino.

O pH dos solos corrigidos, tanto com gesso mineral acrescido por resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil, como com doses entre 7.861 e 220.000 kg ha⁻¹ de casca-de-ovo acrescidas por resíduos de Pau-Brasil, assim como com doses 110.000, 220.000 e 440.000 kg ha⁻¹ de placas-de-gesso ou de borra-de-gesso, foi empurrado para abaixo da faixa de ótima disponibilidade de nutriente, 5,5 a 6,5 (Figura 3). No tratamento com apenas casca-de-ovo, contudo, o pH do solo praticamente não foi alterado, com exceção apenas da dose 220.000 kg ha⁻¹ que apresentou, assim como era esperado, um ligeiro aumento do pH, o qual chegou a 6,55. Demais tratamentos enquadraram os valores de pH do solo dentro da faixa 5,5 a 6,5.

Conforme mostra a equação de regressão, o decaimento do pH do solo corrigido com gesso mineral mais resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil, decorreu a uma taxa 1,374 para cada quilo de gesso, proporcionando, da dose 28.000 kg ha⁻¹ em diante, um aumento, na atividade de prótons, de cerca 25 vezes, quando comparado ao solo que não recebeu nenhum

tratamento. Nos solos recuperados com resíduos de gesso, a taxa de decaimento do pH ficou entre 0,8 e 0,9, não oscilando muito para fora disso. Nos tratamentos com casca-de-ovo, contudo, a coisa mudou de figura; a equação do decaimento do pH do solo foi quadrática e cúbica, ora aumentando e ora diminuindo o pH do solo com a elevação da dose de casca-de-ovo.

Figura 3 - pH em água, de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, do distrito de Lagoa de Barro, município de Araripina, Pernambuco, Brasil, que recebeu resíduos de gesso (placas-de-gesso ou borra-de-gesso), casca-de-ovo (com ou sem resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil), ou gesso mineral (com ou sem resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil). Alguns vasos não receberam nenhum resíduo nem gesso mineral, ou seja, tratamento controle (ou **dose 0 kg ha⁻¹**); outros, entretanto, receberam **7.861; 15.722; 20.000; 28.000; 110.000; 220.000 ou 440.000 kg ha⁻¹** de resíduos de gesso, de gesso mineral, ou de casca-de-ovo. As barras de erro representam o erro padrão da média (n = 4). O asterisco (*) indica modelos de regressão significativos (teste F; p<0,05), ou diferenças entre tratamentos, dentro de uma mesma dose (teste Tukey; p<0,05).



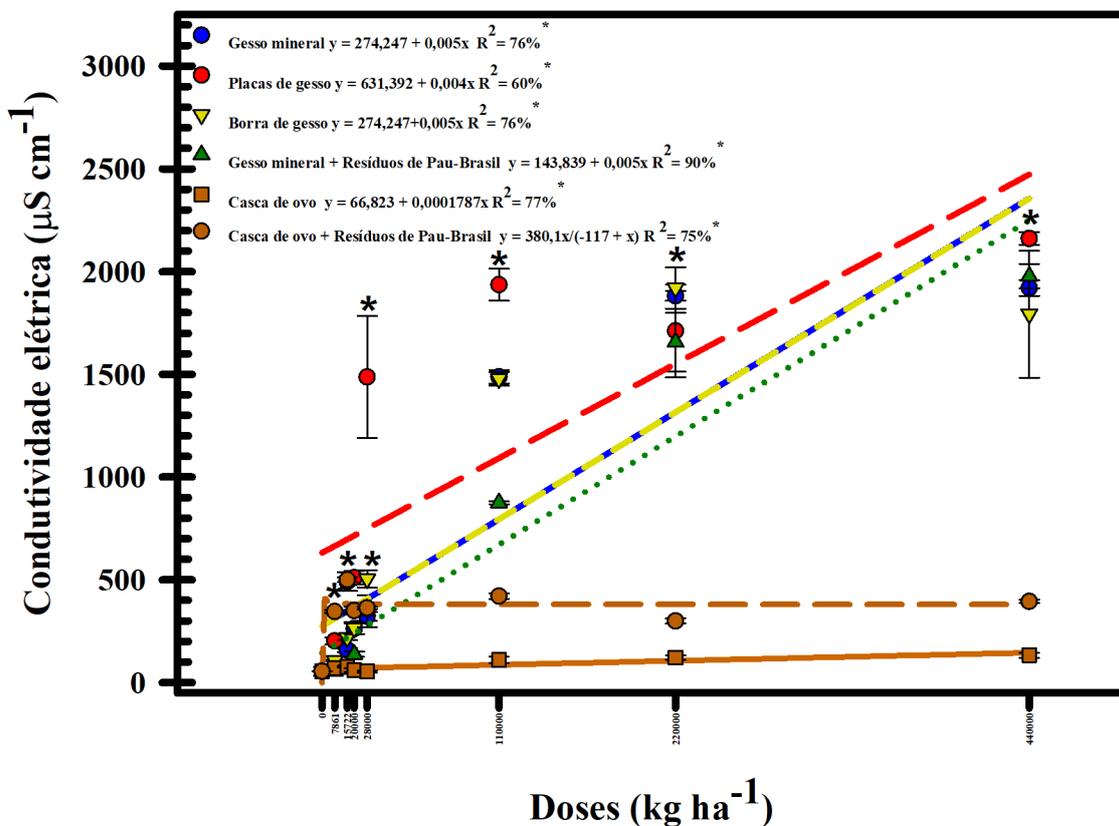
Fonte: Autoria própria.

Com esta figura podemos facilmente depreender que doses muito elevadas de resíduos de gesso, assim como a adição de adubos verdes aos corretivos de sodicidade do solo, podem fatalmente deslocar o pH do solo para baixo da faixa de ótima disponibilidade de nutrientes: 5,5 a 6,5.

A condutividade elétrica do pó de placas-de-gesso foi o que se sobressaiu entre os tratamentos com gesso; depois veio o gesso mineral, a borra-de-gesso e, por último, o gesso mineral acrescido de resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil (*Figura 4*). A casca-de-ovo, por outro lado, como era de baixa solubilidade comparativamente aos resíduos acima referidos, apresentou baixos valores de condutividade elétrica comparativamente aos demais tratamentos. Contudo, quando ela foi acrescida por resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil, sua condutividade elétrica mais que triplicou. A equação de regressão linear que está

na *Figura 4* deixa bem claro que, para cada quilo de gesso (residual ou não) adicionado ao solo, a condutividade elétrica aumentou a uma taxa de cerca de $0,005 \mu\text{S cm}^{-1}$; para a casca-de-ovo, contudo, ela girou ao entorno de $0,0002 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Figura 4 - Condutividade elétrica (em $\mu\text{S cm}^{-1}$) de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, do distrito de Lagoa de Barro, município de Araripina, Pernambuco, Brasil, que recebeu resíduos de gesso (placas-de-gesso ou borra-de-gesso), casca-de-ovo (com ou sem resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil), ou gesso mineral (com ou sem resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil). Alguns vasos não receberam nenhum resíduo nem gesso mineral, ou seja, tratamento controle (ou dose 0 kg ha^{-1}); outros, entretanto, receberam 7.861 ; 15.722 ; 20.000 ; 28.000 ; 110.000 ; 220.000 ou $440.000 \text{ kg ha}^{-1}$ de resíduos de gesso, casca-de-ovo, ou de gesso mineral. O asterisco (*) indica modelos de regressão significativos (teste F; $p < 0,05$), ou diferenças entre tratamentos, dentro de uma mesma dose (teste Tukey; $p < 0,05$).



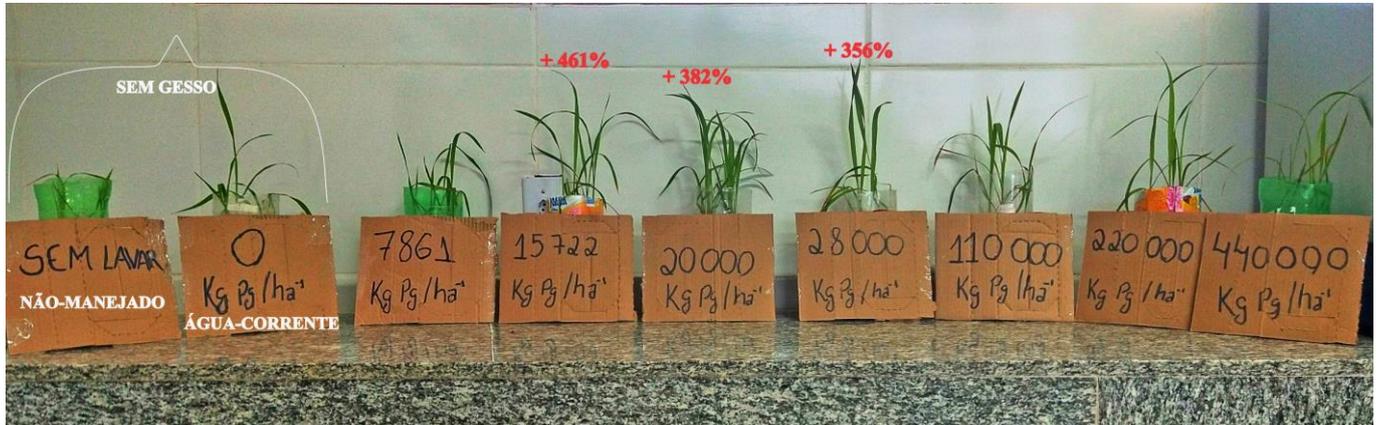
Fonte: Autoria própria.

Na figura acima, é o pó de placas-de-gesso o corretivo de sodicidade que aparentemente mais cálcio libera no solo. Resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil catalisam liberação de cálcio em casca-de-ovo.

Resposta do arroz à sodicidade do solo

Após constatar que a saturação por sódio (*Figura 2*), o pH (*Figura 3*) e a condutividade elétrica (*Figura 4*) do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com problemas de sodicidade, foram afetados pelos diferentes resíduos sólidos urbanos e suas doses, elegera-se o pó de placas-de-gesso como corretivo de sodicidade do solo que recebeu plantas de arroz (*Figura 5*).

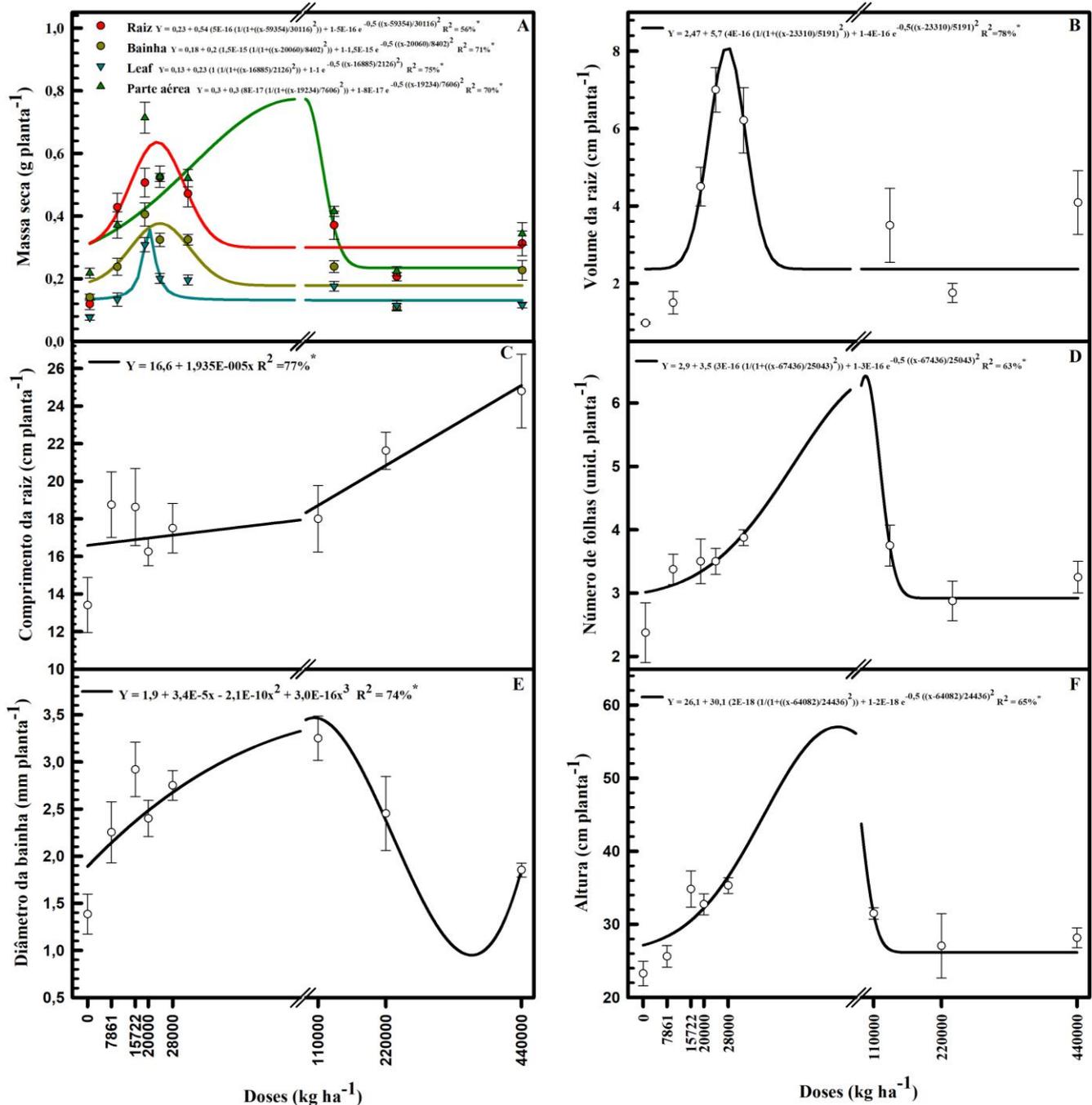
Figura 5 - Os dois primeiros vasos representam tratamentos sem gessagem: o primeiro é um solo não-manejado (ou melhor, solo degradado por sodicidade); o segundo, é um solo que foi lavado com 400 mL de água-corrente. Os demais vasos representam tratamentos com gessagem de placas-de-gesso, destacando as doses 15.722, 20.000 e 28.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso por terem medrado, em comparação com o solo não-manejado, a massa seca da planta inteira do arroz em 461, 382 e 356%, respectivamente.



Fonte: Autoria própria.

Doses 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso revelaram maior massa seca da raiz (*Figura 6A*) e volume radicular (*Figura 6B*) do que os demais tratamentos. Em comparação com o solo não-manejado (solo degradado por sodicidade e com dose 0 kg ha⁻¹ de placas-de-gesso), estas variáveis foram aumentadas em quatro vezes. O comprimento radicular, por outro lado, foi proporcional à dose, sobressaindo-se a dose 440.000 kg ha⁻¹ por haver promovido, em comparação com o solo não-manejado, um incremento de mais de 84% (*Figura 6C*).

Figure 6 - Massa seca da raiz, bainha, folha e parte aérea (A); volume (B) e comprimento da raiz (C); número de folhas (D) e diâmetro da bainha (E) e altura (F) de plantas de arroz (var. Piauí) cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com problemas de sodicidade, no Polo Gesseiro Pernambucano. Parte do solo foi tratado com 7.861; 15.722; 20.000; 28.000; 110.000; 220.000 ou 440.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso; a dose 0 kg ha⁻¹ (solo não-manejado) não recebeu gesso nem foi lavado com 400 mL de água-corrente, constituindo o tratamento controle. O asterisco (*) indica modelos de regressão significativos (teste F; p<0,05). Barras de erro representam o erro padrão da média (n = 4).



Fonte: Autoria própria.

A Figura 6 deixa muito bem claro que o uso do pó de placas-de-gesso pode restaurar o potencial produtivo de um solo degradado por sodicidade.

Doses acima elencadas (15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹), para além de terem espertado o desenvolvimento radicular em plantas de arroz, promoveram também um maior acúmulo de matéria seca na bainha, folha e parte aérea como um todo (*Figura 5; Figura 6A*). O aumento de matéria seca da parte aérea foi maior do que o do solo não-manejado em mais de duas vezes, destacando a dose 15.722 kg ha⁻¹ por esta ter incrementado a matéria seca da bainha em 302%, e das folhas em 200%, comparativamente ao solo não-manejado. O incremento da matéria seca observada nestas doses esteve sempre acompanhado por um maior número folhas (*Figura 6D*), maior diâmetro da bainha (*Figura 6E*) e maior altura da planta (*Figura 6F*), não somente nestas doses, mas também nas doses 7.861 e 110.000 kg ha⁻¹. O número de folhas foi incrementado de 42 (7.861 kg ha⁻¹) a 63% (28.000 kg ha⁻¹); o do diâmetro da bainha, de 63 (7.861 kg ha⁻¹) a 135% (110.000 kg ha⁻¹).

Confrontando o solo não-manejado com os outros dois solos recuperados, seja com água-corrente como com 28.000 kg ha⁻¹ de placas-de-gesso, observa-se que estes dois últimos tratamentos foram sempre melhores que o solo não-manejado em todas variáveis morfológicas avaliadas em plantas de arroz (*Tabela 2*). O volume da raiz, por exemplo, foi incrementado em 447 e 537%, respectivamente, no tratamento com água-corrente e no tratamento com 28.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso.

Tabela 2 - Massa seca da raiz, bainha, folha e parte aérea, altura, número de folhas, diâmetro da bainha, comprimento e volume da raiz de plantas de arroz (var. Piauí) cultivadas em vasos contendo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico não-manejado (isto é, degradado por sodicidade), ou lavado com 400 mL de água-corrente, ou ainda tratado com 28.000 kg ha⁻¹ de placas-de-gesso, no Polo Gesseiro Pernambucano.

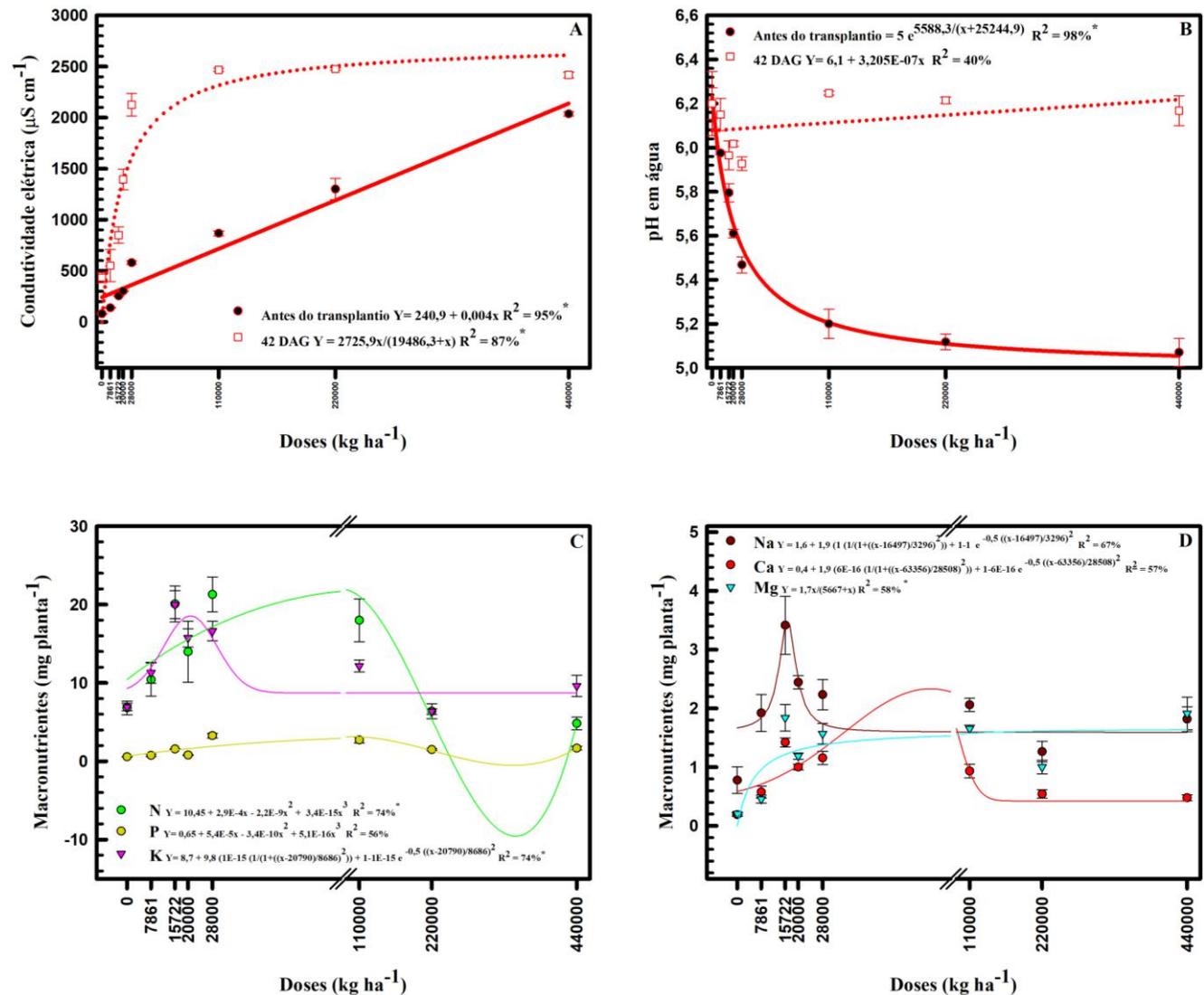
| Manejo do solo | Massa seca da raiz (g planta ⁻¹) | Massa seca da bainha (g planta ⁻¹) | Massa seca da folha (g planta ⁻¹) | Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹) | Altura (cm planta ⁻¹) | Número de folhas (und. Planta ⁻¹) | Diâmetro da bainha (mm planta ⁻¹) | Volume da raiz (cm ³ planta ⁻¹) | Comprimento da raiz (cm planta ⁻¹) |
|----------------------------------|--|--|---|---|-----------------------------------|---|---|--|--|
| Solo não-manejado | 0.1±0.0 c | 0.1±0.0 b | 0.1±0.0 b | 0.2±0.0 b | 23.3±1.7 b | 2.4±0.5 b | 1.4±0.2 b | 1.0±0.0 b | 13.4±1.5 |
| Água-corrente | 0.4±0.0 b | 0.3±0.0 a | 0.2±0.0 a | 0.5±0.0 a | 32.7±1.2 a | 4.0±0.4 a | 2.2±0.2 ab | 5.3±0.5 a | 16.8±1.4 |
| 28000 kg ha ⁻¹ de PPG | 0.5±0.0 a | 0.3±0.0 a | 0.2±0.0 a | 0.5±0.0 a | 35.3±1.1 a | 3.9±0.1 a | 2.8±0.2 a | 6.2±0.8 a | 17.5±1.3 |
| CV (%) | 13.64 | 10.19 | 13.06 | 9.87 | 9.57 | 18.09 | 20.55 | 22.75 | 19.33 |

Letras minúsculas iguais, na coluna, realçam médias ± SE (n=4) que não diferiram significativamente (teste Tukey, p<0,05) entre os tratamentos. PPG: Pó de placas-de-gesso. SE: erro padrão. CV%: coeficiente de variação. Fonte: Autoria própria.

Na *Tabela 2* são quase imperceptíveis as diferenças entre os solos recuperados, seja com água-corrente como com placas-de-gesso mais água-corrente. Não resta dúvidas de que uma água de boa qualidade pode camuflar, ainda que temporariamente, as péssimas condições físicas de um solo solódico, assim como a perda de solo e de nutrientes que decorrem em seu perfil.

Antes da sementeira do arroz, a condutividade elétrica do solo apresentava um efeito linear, aumentando na medida em que a dose do pó de placas-de-gesso aumentava (*Figura 7A*). Aos 42 após a germinação (DAG), contudo, este efeito linear foi suplantado por uma hipérbole. Na hipérbole, a condutividade elétrica do solo das doses 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹, cujas massas secas de raízes e volume radicular (*Figura 6A, B*) foram maiores do que os dos demais tratamentos, afixou-se na faixa não saturável da curva, enquanto a das doses superiores a 28.000 kg ha⁻¹, com baixa massa seca da raiz e volume radicular, agrupou-se na faixa saturada.

Figure 7 - Conteúdo de N, P, K (C), Na, Ca e Mg (D) de plantas de arroz (var. Piauí) cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com problemas de sodicidade, no Polo Gesseiro Pernambucano. Parte do solo foi tratado com 7.861; 15.722; 20.000; 28.000; 110.000; 220.000 ou 440.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso; a dose 0 kg ha⁻¹ (solo não-manejado) não recebeu gesso nem foi lavado com 400 mL de água-corrente, constituindo o tratamento controle. Antes do transplantio do arroz e após a coleta do experimento (42 DAG), a condutividade elétrica (A) e o pH (B) do solo foram mensurados. O asterisco (*) indica modelos de regressão significativos (teste F; p<0,05). Barras de erro representam o erro padrão da média (n = 4). DAG: dias após a germinação.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 7 mostra que a gessagem com 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso desloca o pH do solo para faixa de ótima disponibilidade de nutrientes (5,5 a 6,5), fazendo com que plantas de arroz acumulem mais macronutrientes do que os demais tratamentos.

O conteúdo do nitrogênio (N) e do potássio (K) (Figura 7C), de plantas de arroz, acompanhou o decaimento do pH do solo (Figura 7B) que havia sido documentado em cada dose do pó de placas-de-gesso, antes do transplantio das plântulas. Ou melhor dizendo: nas doses 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹ que conduziram o pH do solo para dentro da faixa de ótima disponibilidade de nutrientes, 5,8; 5,6; e 5,5; respectivamente, houve um aumento crescente do conteúdo de N e K, o qual foi

igual ao da dose 110.000 kg ha⁻¹ e maior do que o dos demais tratamentos, acumulando inclusive duas vezes mais N e K do que o solo não-manejado. Acima da dose 110.000 kg ha⁻¹, já com um pH beirando a 5,0, o conteúdo de N e K seguiu uma tendência decrescente, passando a expressar valores que mais se aproximavam do solo não-manejado do que das outras doses, que eram menores que 110.000 kg ha⁻¹. Este *modus operandi* do N e K em relação à curva do pH que foi registrada antes do transplântio, também se reproduziu na curva do conteúdo do Ca (*Figura 7D*). O fósforo (P), contudo, não o reproduziu (*Figura 7C*). Neste caso, tanto fez a dose do pó de placas-de-gesso ser menor ou maior que 110.000 kg ha⁻¹, que o conteúdo do P em plantas de arroz foi inexoravelmente incrementado de 31 (7.861 kg ha⁻¹) a 476% (28.000 kg ha⁻¹) comparativamente ao solo não-manejado. Aos 42 dias após a germinação (DAG), o pH de todas as doses, contudo, alou-se para próximo de 6,0, não apresentando nenhuma importante relação com o conteúdo de macronutriente.

Em plantas que cresceram em solo não-manejado, o conteúdo de cálcio o de magnésio era igual (*Figura 7D*); contudo, na medida em que foi-se elevando as doses de placas-de-gesso no solo, essa relação entre o cálcio e o magnésio se desfez. À gessagem com placas-de-gesso, o arroz passou então a responder com maior conteúdo de magnésio do que do cálcio. E isso fez com que o magnésio começasse a disputar o seu espaço na planta com o sódio. Ao cabo desta disputa, ou melhor dizendo, a partir da dose 110.000 kg ha⁻¹, a quantidade do sódio e magnésio na planta se igualou, e o cálcio foi reduzido.

Comparando solos recuperados, seja com água-corrente como com gesso mais água-corrente, em relação ao solo não-manejado, percebeu-se que a recuperação do solo favoreceu maior acúmulo de K, Na, Ca e Mg em plantas de arroz (*Tabela 3*). N e P, por outro lado, não responderam da mesma forma; eles foram sempre maiores no tratamento com 28.000 kg ha⁻¹ de gesso, comparativamente aos demais tratamentos.

Tabela 3 - Conteúdo de N, P, K, Na, Ca e Mg de plantas de arroz (var. Piauí) cultivadas em vasos contendo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico não-manejado (isto é, degradado por sodicidade), ou lavado com 400 mL de água-corrente, ou tratado com 28.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso, no Polo Gesseiro Pernambucano.

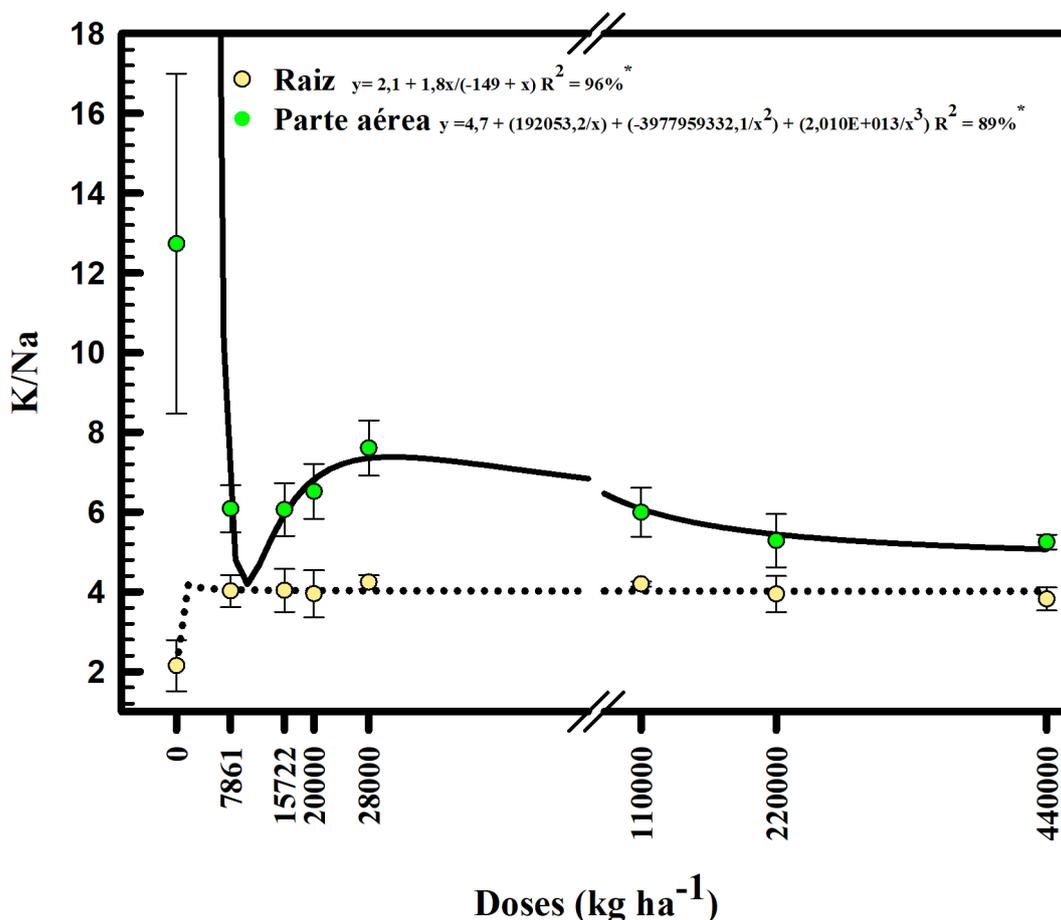
| Manejo do solo | N | P | K | Na | Ca | Mg |
|----------------------------------|------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| | mg plant ⁻¹ | | | | | |
| Solo não-manejado | 6.8±0.9 b | 0.6±0.0 b | 6.9±0.5 b | 0.8±0.2 b | 0.2±0.0 b | 0.2±0.0 c |
| Água-corrente | 9.8±1.0 b | 1.0±0.1 b | 15.8±0.5 a | 2.4±0.2 a | 1.0±0.2 a | 2.3±0.3 a |
| 28000 kg ha ⁻¹ de PPG | 21.3±2.2 a | 3.3±0.3 a | 16.6±1.2 a | 2.2±0.3 a | 1.2±0.1 a | 1.6±0.2 b |
| CV (%) | 25.4 | 26.5 | 10.17 | 28.26 | 19.15 | 22.28 |

Letras minúsculas iguais, na coluna, realçam médias ± SE (n=4) que não diferiram significativamente (teste Tukey, p<0,05) entre os tratamentos. PPG: Pó de placas-de-gesso. SE: erro padrão. CV%: coeficiente de variação. Fonte: Autoria própria.

Na *Tabela 3* há de notar-se que a gessagem com placas-de-gesso possibilitou maior acúmulo de nitrogênio (N) e fósforo (P), comparativamente aos demais tratamentos; seu conteúdo de magnésio, contudo, foi inferior ao do solo tratado com apenas água-corrente, mas maior do que o do solo não-manejado.

A razão entre potássio e sódio de plantas cultivadas em solo não-manejado foi menor do que a das plantas cultivadas em solos corrigidos com o pó de placas-de-gesso (*Figura 8*), corroborando aqueles baixos acúmulos de matéria seca observados neste tratamento sem manejo (*Figura 6*). Na parte aérea o efeito foi contrário; a razão entre potássio e sódio foi menor nos tratamentos com placas-de-gesso, em particular nas doses 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹, corroborando os altos ganhos em matéria seca que foram observados nestas três doses, comparativamente ao solo não-manejado.

Figura 8 - Razão entre potássio (K) e sódio (Na) na raiz e na parte aérea de plantas de arroz (var. Piauí) cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com problemas de sodicidade, no Polo Gesseiro Pernambucano. Parte do solo foi tratado com 7.861; 15.722; 20.000; 28.000; 110.000; 220.000 ou 440.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso; a dose 0 kg ha⁻¹ (solo não-manejado) não recebeu gesso nem foi lavado com 400 mL de água-corrente, constituindo o tratamento controle. O asterisco (*) indica modelos de regressão significativos (teste F; p<0,05). Barras de erro representam o erro padrão da média (n = 4).



Fonte: Autoria própria.

A razão K/Na, representada na *Figura 8*, ratifica que plantas natrofóbicas, quando cultivadas em solo degradado por sodicidade, acumulam mais sódio que potássio na raiz, comparativamente aos demais tratamentos. Na parte aérea, o efeito é contrário.

4. Discussão

George et al. (2012) sustentam que práticas inapropriadas de irrigação e drenagem podem aniquilar sociedades agrícolas bem sucedidas. No Brasil, onde 62% das terras semiáridas são degradadas, problemas de sodicidade avançam no estado de Pernambuco. O exemplo é Lagoa do Barro, distrito do município de Araripina, onde um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico se tornou solódico por causa da irrigação do tomate com água de baixa qualidade. Por rearmos que este solo evoluísse a um solo sódico, nosso estudo avaliou sua volubilidade química face ao manejo com diferentes resíduos de gesso, casca-de-ovo e resíduos de poda urbanos de Pau-de-Brasil. Ao cabo deste estudo, foi possível observar que o manejo com resíduos urbanos ricos em cálcio afeta a sodicidade do solo e o crescimento do arroz, uma espécie natrofóbica, neste latossolo evoluído de clima semiárido.

Os tratamentos sem gesso ou com casca-de-ovo turvaram seus lixiviados (*Figura 1A*). Explico: o sódio que é trazido ao solo pela água da irrigação, dispersa as argilas, fazendo com elas sejam facilmente carregadas para outros pontos, dentro do mesmo sistema solo, ou para outro sistema (hidrosfera, por exemplo), pela água gravitacional. Isso pode estar acontecendo, por exemplo, dentro de um perfil do solo, ou do perfil do solo em direção a outras partes da paisagem: para o lençol freático, baixada, ou córrego, por exemplo. Esta perda de argila em algum momento há de obstruir a porosidade do solo, impermeabilizar a superfície do solo e compactar o solo, reduzindo a taxa de infiltração básica de água no solo, a condutividade hidráulica e o arejamento do solo. Para além de se perder solo, perde-se também a capacidade de armazenamento de água, matéria orgânica e nutrientes no solo, o que, em clima semiárido, produz efeitos funestos para as plantas (Lepsch, 2021; Mandal et al., 2008; Prado & Prado, 2022). Com efeito, quando plantas de arroz foram cultivadas em solo não-manejado (um Latossolo degradado por sodicidade e com 0 kg ha⁻¹ de placas-de-gesso) apresentaram baixos conteúdos de macronutrientes, comparativamente aos demais tratamentos (*Tabela 3*). Perceba-se aqui que para ilustrar-se a perda de nutrientes, a que este parágrafo se refere, está lançando-se mão da resposta do arroz à sodicidade, um assunto que será amiudado mais adiante; mais especificamente: a partir do oitavo parágrafo! Mas este dado esclarece, e de forma peremptória, que o lixiviado turvo não deveria percolar, de forma alguma, pelos perfis de solos semiáridos. Em ambientes semiáridos, o que deveria percolar mesmo, é, na verdade, um lixiviado cristalino, como aquele que foi liberado pelos demais tratamentos, em especial pelas doses 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹ de resíduos de gesso (*Figura 1B*), o qual perde, se é que pode falar-se em perda neste caso, pouquíssimo solo, nutrientes e matéria orgânica. Portanto, não foi surpresa alguma, plantas de arroz cultivadas em solo tratado 28.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso ostentarem mais nitrogênio (N) e fósforo (P) que plantas crescidas em solo não-manejado e recuperado com apenas água-corrente (*Tabela 3*). O N, neste caso, foi incrementado em 212 e 118% comparativamente ao solo não-manejado e ao solo recuperado com apenas água-corrente, respectivamente; o P, em 476 e 213%, respectivamente. Contudo, o conteúdo de magnésio no solo não-manejado e no solo com placas-de-gesso foi menor do que o do solo recuperado com apenas água-corrente. Por quê? A explicação é bem simples para o solo não-manejado: a dispersão dos colóides levou consigo todos os nutrientes solúveis, inclusive o próprio Mg²⁺. Já o maior conteúdo de magnésio do solo recuperado com apenas água-corrente tem a ver com a razão Mg/Ca (M. Ribeiro et al., 2016), a qual foi certamente maior neste solo do que no solo tratado com o pó de placas-de-gesso, fazendo com que plantas de arroz absorvessem mais Mg²⁺ do solo, não somente por necessidades metabólicas, mas talvez como forma de abrandar os efeitos da sodicidade do solo, pois, assim como o Na⁺, o Mg²⁺ medra também, comparativamente ao Ca²⁺, um maior raio iônico hidratado que pode dispersar argilas.

Se a turbidez indica dismantelamento, pelo sódio, da estrutura do solo, a limpidez do lixiviado, por outro lado, sinaliza um solo convalescido de sodicidade (*Figura 1*). Então não é de se espantar que todos os tratamentos que desenturvaram o lixiviado tenham abaixado a saturação por sódio no solo, de quase 8% a praticamente 0% em apenas 30 minutos (*Figura 2*). Portanto, para se diagnosticar problemas de sodicidade no solo, ou se averiguar a solubilidade de um determinado resíduo sólido rico em cálcio no solo, não precisa-se de procedimentos mirabolantes; basta tão somente que o solo (com ou sem o referido resíduo) seja colocado em um filtro de papel suspenso (*Figura 1*) e que seja lavado com água de boa qualidade. Se houver turbidez do lixiviado, há de haver problemas de sodicidade no solo; caso contrário, não os terá.

Como consequência da expulsão do sódio no solo, a gessagem abaixou o pH do solo, e a casca-de-ovo lho balouçou (*Figura 3*). Na literatura há também uma plêiade de estudos relatando o abaixamento do pH do solo em função da correção da sodicidade do solo com gesso agrícola (Holanda et al., 1998; Leite et al., 2007; Leite et al., 2012; Niazi et al., 2001; Santos et al., 2005). Neste estudo, o gesso mineral e as doses 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹ de placas-de-gesso ou de borra-de-gesso, assim como as doses 220.000 e 440.000 kg ha⁻¹ de casca-de-ovo acrescidas por resíduos de Pau-Brasil, reduziram o pH do solo para faixa de ótima de absorção de nutrientes, 5,5 a 6,0. Os demais tratamentos escaparam dessa faixa: o gesso mineral mais

resíduos de Pau-Brasil, e doses superiores a 28.000 kg ha⁻¹ de resíduos de gesso romperam o limiar inferior de 5,5; doses menores ou igual 110.000 kg ha⁻¹ de casca-de-ovo mais resíduos de Pau-Brasil também romperam esse limite; doses 110.000 e 220.000 kg ha⁻¹ de casca-de-ovo apenas, por outro lado, violaram o limite superior do pH. Como explicar essa volubilidade de pH do solo?

Nos tratamentos com gessagem (gesso mineral, pó de placas-de-gesso e borra-de-gesso), o cálcio (Ca²⁺) e o sulfato (SO₄²⁻) liberados pelo gesso teriam deslocado sódio (Na⁺) e ânions, como hidroxilas (OH⁻), para a solução do solo, e estes, por sua vez, teriam sido lixiviados pela água gravitacional, favorecendo acúmulo de prótons (H⁺), os quais teriam, por conseguinte, abaixado o pH do solo. Como a condutividade elétrica do solo aumentou com a dose (*Figura 4*), pode presumir-se que a concentração do Ca²⁺ e do SO₄²⁻ também aumentou neste mesmo sentido, fazendo com que este efeito, do abaixamento do pH, ficasse mais evidente a partir da dose 110.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso ou da borra-de-gesso (*Figura 3*).

Tratamentos com resíduos de Pau-Brasil, decerto, ativaram também sulfatases, de actinomicetos e pseudomonas, cuja função no solo haveria também de ser a de abaixar o pH, predominantemente pela oxidação do enxofre C-S armazenado em sulfolipídeos de membranas tilacoides (cujo teor na planta é 90%), e liberação de H₂SO₄. Pode ainda ter havido, nestes tratamentos, um efeito sinérgico da combinação dos dois resíduos; íons liberados por resíduos de Pau-Brasil, que são majoritariamente diversos daqueles presentes no gesso e na casca-de-ovo, teriam aumentado a solubilidade do gesso e da casca-de-ovo, tornando a ação de massas do Ca²⁺, em substituir o Na⁺ na superfície adsorvente dos colóides do solo, mais agressiva, em comparação com os tratamentos só com gesso ou só com casca-de-ovo. A prova disso é que quando a casca-de-ovo foi acrescida por resíduos de Pau-Brasil mais que triplicou a condutividade elétrica do solo, comparativamente ao do tratamento com apenas casca-de-ovo, passando o seu solo, a partir da dose 28.000 kg ha⁻¹ de casca-de-ovo, a liberar um lixiviado cristalino (*Figura 4; Figura 1B*). No solo com gesso mineral mais resíduos de Pau-Brasil o efeito foi contrário; a condutividade elétrica do solo, neste caso, foi menor que a do gesso mineral (*Figura 4*), pois o suposto aumento da solubilidade aqui, por ter sido muito maior que o da casca-de-ovo, teria rapidamente sujeitado o par iônico CaSO₄ a ao menos três drenos: (i) complexo de troca (para substituição do sódio); (ii) lixiviação; e (iii) metabolismos de micro-organismo decompositores (Araujo et al., 2019; Araujo et al., 2023; Araujo et al., 2018; Lepsch, 2021; Lopes et al., 2023; Prado & Prado, 2022; M. Ribeiro et al., 2016; Vergara, Araujo, Pereira, et al., 2024; Vergara, Araujo, Urquiaga, et al., 2018; Vergara et al., 2017). Como consequência de mais substituições de Na⁺ por Ca²⁺ no complexo de troca, dos tratamentos com resíduos de Pau-Brasil, o valor do pH do solo teria se aproximado da faixa 4,0 a 4,5, que é o pH natural dos solos altamente intemperizados (*Figura 3*). E a elevação do pH na casca-de-ovo só pode ser atribuída ao consumo de prótons predominantemente pelo bicarbonato (Sposito, 2008). Estes dados indicam, pois, que adubação verde aumenta a solubilidade dos corretivos de sodicidade do solo.

Contudo, essa teoria de pungir o Ca²⁺ com outras espécies iônicas, diversas do Ca²⁺, não mais explica os altos valores de condutividade elétrica do solo observados no tratamento com apenas placas-de-gesso (*Figura 4*). O que explica este efeito, do pó de placas-de-gesso, é o processo de secagem, ou melhor dizendo, de concentração do cálcio, no qual gesso em pó passa do estado pastosa a sólido formando a placa-de-gesso. Assim, os mais altos valores de condutividade elétrica observados no tratamento com o pó de placas-de-gesso indicam que este é o corretivo de sodicidade do solo que mais cálcio libera no solo.

Resíduos orgânicos, que não os de poda urbana e de leguminosas, tais como vinhaça, esterco, casca de arroz e palhada de carnaúba, têm sido largamente empregados (em ou sem associação com gessagem) para o controle da sodicidade do solo (Gomes et al., 2000; Holanda et al., 1998). Os estudos indicam que eles só controlam a sodicidade quando combinados com gesso, inclusive, reduzindo e elevando, respectivamente, o pH e a condutividade elétrica. Isoladamente, condicionadores do solo não funcionam no solo como corretivos de sodicidade, porque a sodicidade mobiliza 40% da matéria orgânica do solo, colóides orgânicos e complexos argila/matéria orgânico, favorecendo, de um lado, a remoção do cálcio adsorvido nos

adsorventes orgânicos e, de outro, a saturação do complexo inorgânico pelo sódio (Naidu, 1993).

Esgotadas todas as ilações acerca do efeito de resíduos urbanos ricos em cálcio no solo, seguiu-se para a avaliação do crescimento do arroz em solo recuperado com o pó de placas-de-gesso (*Figura 5*). O pH do solo não-manejado (**um Latossolo degradado por sodicidade**), e das doses 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso sempre esteve na faixa de ótima disponibilidade de nutrientes, tanto no transplantio, como no momento da coleta do experimento, aos 42 dias após a germinação; a condutividade elétrica, no momento do transplantio, aumentou com a dose e, na coleta, fixou-se na faixa não-saturável (*Figura 7A, B*). Contrastando com o solo não-manejado que diminuiu, doses 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso aumentaram, e em quatro vezes, a massa seca da raiz e o volume radicular; demais doses apresentaram uma condição intermediária (*Figura 6A, B*). Assim como foi para condutividade elétrica (*Figura 7A*), o comprimento radicular cresceu com a dose do pó de placas-de-gesso (*Figura 6C*). Estes resultados estão de acordo com a razão K/Na da raiz, pois o solo não-manejado, quando comparado aos demais tratamentos, também a reduziu em ao menos 87% (*Figura 8*). Os dados indicam, pois, que o sódio (Na⁺) prejudica o crescimento radicular e que o gesso lho estimula. Mas como?

Concentrações de sódio altas, sejam estas extracelulares ou intracelulares, induzem oscilações de cálcio na planta. E o indício de que houve oscilações de cálcio, ou melhor, de que o cálcio atuou como sinalizador da presença de sódio na parte aérea do arroz é aquele pico de conteúdo de cálcio que se observa na *Figura 7B*, entre as doses 7.861 e 110.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso, o qual se associou a maior acúmulo de sódio na parte aérea, comparativamente às doses 220.000 e 440.000 kg ha⁻¹. Estas oscilações de cálcio são decodificadas por proteínas de ligação a cálcio: SOS3 na raiz, e SCABP8/CBL10 na folha. SOS é um sistema que mantém a homeostase iônica em condições de altas concentrações de sal. Por fosforilação, SOS3 e SCABP8/CBL10 ativam a SOS2, uma proteína quinase da membrana plasmática. SOS2 ativada, ativa o SOS1, um antiporte Na⁺/H⁺ que transporte Na⁺, do citosol ao apoplasto. Para além disso, as SOS2-3 regulam a atividade do transportador NHX e das bombas prótons-adenosinas-trifosfatases (H⁺-ATPases). NHX é um transportador que ao ser capitaneado em antiporte pela força próton-motriz gerada pelas H⁺-pirofosfatases (V-H⁺-PPases) e H⁺-ATPases armazena no vacúolo o Na⁺ que se encontra no citosol (Batelli et al., 2007; Brini & Masmoudi, 2012; Lin et al., 2009; Shi et al., 2000; Vergara & Araujo, 2024; Vergara, Araujo, Souza, et al., 2019; Vergara, Araujo, Sperandio, et al., 2019; Vergara et al., 2023; Yang & Guo, 2018). Com efeito, a superexpressão de NHX aumentou, no vacúolo, o sequestro de Na⁺, e glicófitas, tais como arroz, tomate e milho, que via de regra não conseguiam sobreviver e produzir em solos semiáridos irrigados, usualmente com 50 a 100 mM de Na⁺, passaram então a sobreviver e a produzir em ambientes mais extremos, com até 200 mM de Na⁺ (Yamaguchi & Blumwald, 2005). Quando a concentração do Na⁺ é normalizada no meio externo, a SOS3 é desativada pelas proteínas GI, 2C e ABI1; aumentando novamente o Na⁺ essas proteínas são degradadas (Hasegawa, 2013; Ma et al., 2023; Tan et al., 2016; Zhou et al., 2014).

Com a ativação dos transportadores SOS1 e NHX em plantas natrofóbicas, o influxo e efluxo de Na⁺ decorrem de maneira fractal (ciclo fútil do Na⁺), tanto em baixas (<1mM) quanto em altas (>1mM) concentrações de Na⁺, o que culmina, por fim, com um dispêndio muito grande de energia, mas não com o metabolismo de crescimento, e sim com o bombeamento de prótons (H⁺) nas bombas H⁺-ATPases e V-H⁺-PPases, buscando remover excessivo Na⁺ que adentra o citosol (Malagoli et al., 2008). Por causa disto, massa seca da raiz (*Figura 6A*), volume radicular (*Figura 6B*) e comprimento da raiz (*Figura 6C*) de plantas de arroz cultivadas em solo não-manejado com resíduos urbanos ricos em cálcio foram os mais baixos; mas não foi só isso: o acúmulo de matéria seca na parte aérea também foi diminuto (*Figura 6A*).

Assim como o solo não-manejado acumulou pouca matéria seca neste estudo, comparativamente aos tratamentos com gessagem de placas-de-gesso, plantas de arroz (var. Piauí) (Pereira et al., 2020) e de caju (Viégas et al., 2001), de outros estudos, suplementados com 90 e 100 mM de NaCl, respectivamente, também acumularam pouca massa fresca da raiz e da parte área comparativamente ao tratamento controle sem NaCl. Este efeito, da redução do crescimento da planta por

sodicidade, pode ser complementarmente compreendido tanto sob a ótica da razão K/Na como pela lupa da absorção de ânions. Analisemos, primeiro, a razão K/Na.

Por haver muito Na^+ no meio externo, não se podia favorecer, na célula vegetal, absorção e acúmulo de outro cátion que não fosse o próprio Na^+ . O acúmulo de Na^+ no citosol despolarizou a membrana plasmática, ou melhor, alterou o balanço de cargas entre o meio interno (citosol) e o externo (apoplasto). Para tentar tornar à polarização da membrana, a célula vegetal teve de promover, à fórceps, o efluxo de potássio, o que gerou, particularmente nas raízes de nossas plantas de arroz, uma baixa razão K/Na (*Figura 8*) e baixo rendimento de matéria vegetal (*Figura 6A*). Adicionalmente, a absorção de ânions, tais como NO_3^- e H_2PO_4^- , também foi aparentemente prejudicada por este pernicioso ciclo fútil do Na^+ , posto que ele, para além de drenar esqueletos de carbono, também consumiu a força próton-motriz que energizaria o transporte de ânions, através da membrana plasmática. E com isso, só restou à planta estressada por Na^+ cair na esparrela do amônio (N-NH_4^+): rapidamente absorvê-lo, assimilá-lo e acumulá-lo na forma de N-amino (Pereira et al., 2020) para evitar outro suntuoso gasto de energia com outro ciclo fútil, o ciclo fútil de N-NH_4^+ . Em outras palavras: um determinado estresse nunca age sozinho. De fato, neste estudo, plantas cultivadas em solo não-manejado e em solo recuperado com apenas água-corrente apresentaram menor conteúdo de N e P quando comparadas às plantas cultivadas em solos tratados com 28.000 kg ha⁻¹ de pó de placas de gesso (*Tabela 3*).

Em natrofóbicas, como arroz, caju e feijão, é o potássio, e não o sódio, que favorece o acúmulo de matéria seca na planta. De fato, a gessagem com placas-de-gesso engendrou plantas de arroz com alta razão K/Na na raiz (*Figura 8*), isto é, com mais potássio que sódio, e maior acúmulo de matéria seca na planta inteira, comparativamente ao solo não-manejado (*Figura 5; Figura 6A; Tabela 3*). Nas natrofílicas, como espinafre e beterraba açucareira, a função desses elementos se inverte. Com a inclusão de sódio, cujo raio iônico hidratado é maior que o do potássio, nos vacúolos da parte aérea das natrofílicas, um ajuste osmótico que aumenta a tolerância ao sal é conseguido, favorecendo a extração de água e nutrientes e o acúmulo de matéria seca na planta inteira (Ma et al., 2023).

Este estudo, atado com a literatura supracitada, propõe, portanto, que a sodicidade do solo seja corrigida não só com gesso e seus resíduos, mas também com rotação de culturas, dentre outras culturas natrofílicas (ou halófitas), espinafre, beterraba açucareira, algaroba *Prosopis juliflora* (cujo sistema radicular, com comprimento de até 30 metros, diminui salinidade e a saturação por sódio no solo em até 15 cm de profundidade) e a *Atriplex nummularia* (que retira cerca de 1.145 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de sais no solo) (Freire & Freire, 2007; Ma et al., 2023).

Na verdade, o que deveria ser feito mesmo é a seleção de plantas mais responsivas a sódio que a potássio, uma vez que a crosta terrestre detém mais sódio (2,8%) que potássio (2,6%). E sódio não é de todo malévolos para as plantas nem para os animais. É o sódio que torna o pasto mais palatável aos animais (Ma et al., 2023). As exigências de sódio e potássio em ovinos são estimadas em 37 e 3,91 g kg⁻¹ respectivamente. No nosso estudo, por exemplo, a concentração de sódio e potássio, respectivamente, na raiz e na parte aérea de plantas de arroz cultivadas em solo não-manejado, foi 15,16 e 19,0 g kg⁻¹, e 3,6 e 31,8 g kg⁻¹, uma verdadeira inversão dos requerimentos dos ovinos. Acaso o arroz fosse uma forrageira, geraria, respectivamente, deficiência e toxidez de sódio e potássio; mas, para a sorte dos ovinos, não o é. Os dados, portanto, só podem ratificar que o arroz é uma cultura natrofóbica inábil em transferir sódio, da raiz para parte aérea, por causa do seu mecanismo de exclusão de sódio diretamente na raiz. E pode ser por causa de espécies vegetais com mecanismos congêneres que ovinos tem desenvolvido hiponatremia, deficiência de sódio, em Pernambuco. Uma possível solução para estes ovinos, para além da suplementação de sal, seria o forrageio de pasto afeito de forrageiras natrofílicas como *Lolium Perenne* e *Atriplex nummularia* (Cunha et al., 2022; Smith et al., 1978). Assim, uma integração lavoura-pecuária que envolvesse espécies vegetais natrofílicas, ovinos e/ou caprinos, e resíduos de gesso, talvez viesse a ser mais efetiva no combate à sodicidade de solos halomórficos no semiárido, na medida em que o sódio fosse imobilizado pela forrageira e transferido para a carcaça animal.

Mais substituições de potássio por sódio no tecido vegetal, não apenas interessam aos animais e aos solos solódicos e sódicos do semiárido; interessam também ao Brasil, como um todo, que importa, do exterior, mais de 90% de potássio. Portanto, enquanto não se selecionam tais plantas responsivas a sódio, a ciência poderia ao menos ajudar a esclarecer, para culturas de importância econômica, tais como arroz, quanto de potássio deveria ser substituído por sódio para o aumentar o rendimento destas culturas a baixo custo de produção.

Neste trabalho, a concentração de sódio que remanesceu no solo convalescido de sodicidade, sobretudo nos vasos tratados com 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso, aparentemente mostrou-se benéfica ao arroz, pois tais plantas, para além de acumularem na parte aérea mais matéria seca (*Figura 6*), potássio e sódio (*Figura 7*), tiveram também uma razão K/Na mais baixa na parte aérea (*Figura 8*), isto é, tiveram mais sódio que potássio, do que plantas cultivadas em solo não-manejado; nas doses entre 110.000 e 440.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso, a razão K/Na foi mais baixa ainda, mas não pelo aumento do sódio, e sim pela diminuição do potássio causada pelas tão elevadas doses de gesso. Isto revela que o potássio foi, sim, substituído pelo sódio no arroz, e que a substituição que ocorreu nas doses 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹ estimulou o crescimento da planta. Como isso foi possível?

É que ao se substituir parte de potássio por sódio, seja em vacúolos de glicófitas como de halófitas, o potencial osmótico dessa organela tende a torna-se mais negativo por ter o sódio (0,358nm) um raio iônico hidratado mais escandido que o do potássio (0,33nm), favorecendo a capilarização e a retenção de água no vacúolo. Não obstante, em plantas em que o potássio é substituído por sódio, o fechamento dos estômatos em épocas de estresse hídrico é mais rápido; e após um estresse a abertura estomática é também mais rápida. Para além disso, o sódio reduz a atividade da enzima amido sintase em mais de quatro vezes. Ou seja, esta enzima será mais lenta na conversão de glicose a amido, fazendo com que haja na planta mais açúcares solúveis, tal qual a sacarose, do que amido. Estes açúcares, para além de energizar a atividade das adenosinas trifosfatases, quando enfeixados com a água retida no vacúolo impulsionam o turgor e a expansão celular, fazendo com que plantas que tenham substituído parte do potássio por sódio tenham na parte aérea uma maior espessura foliar, maior área foliar e acumulem mais água por unidade de área, o que se traduz em maior suculência da planta (Hawker et al., 1974; Jeschke, 1977; Ma et al., 2023; Milford et al., 1977; Nunes et al., 1984). De fato, neste estudo, para além de observarmos maior altura da planta (*Figura 6F*) e maior massa seca das folhas (*Figura 6A*) nos vasos corrigidos com 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso, observamos ainda maior número de folhas (*Figura 6D*), destacando-se a dose 28.000 kg ha⁻¹ por ter esta incrementado o número de folhas em 63%; as doses 110.000 e 220.000 kg ha⁻¹, por terem fornecido muito cálcio ao solo e deslocado o pH do solo para abaixo de 5,5, seus indicadores de crescimento, com exceção do comprimento radicular (*Figura 6C*), mais penderam para próximo do solo não-manejado do que para próximo das doses anteriormente citadas. Vale ressaltar ainda que tem de haver um imenso desvelo na hora de controlar o teor de sódio no solo. Na cana-de-açúcar e beterraba-açucareira, a presença do sódio seria interessante para aumentar o teor dos açúcares; na mandioca, contudo, o manejo deveria evitar sódio de modo a aumentar a atividade da amido sintase e acumular mais amido em seus tubérculos.

Para além dos benefícios acima referidos, decorrentes da correção da sodicidade do solo com 15.722, 20.000, 28.000 kg ha⁻¹ de pó de placas-de-gesso, o arroz ainda apresentou maior massa seca da bainha e maior diâmetro da bainha (*Figura 6A, E*), comparativamente às plantas crescidas no solo não-manejado. Em outro estudo, em que plantas de tomate receberam, como única fonte de nitrogênio, resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil, tomateiros submetidos à gessagem de pó de placas-de-gesso apresentaram também maior massa seca do caule e maior diâmetro do caule (Vergara, Araujo, Pereira, et al., 2024). Estes resultados, que avalizam, e em muito, o maior número e massa seca de folhas, e a maior massa seca da raiz, indicam que o pó de placas-de-gesso não só melhora a capacidade de absorção de água e nutrientes na raiz, como também otimiza a eficiência da atividade fotossintética na parte aérea. Os dados revelam também que reservas nutricionais do arroz são primordialmente guardadas na bainha e nas folhas.

Reservas que são guardadas, na pré-antese, nessas estruturas vegetativas, podem vir a ser remobilizadas para proteção do arroz em meio a um eventual estresse abiótico (seca ou agravamento da sodicidade e/ou salinidade) e/ou biótico que possa assomar-se durante a fase vegetativa. Ou na pós-antese serem remobilizadas para enchimento do grão: bainha do arroz chega a translocar 40% de suas reservas para o grão; soja e tomateiros com maior número e massa seca de ramificações produzem grãos e frutos mais pesados, respectivamente (Liang et al., 2022; Sehgal et al., 2018; Vergara, Araujo, Santos, et al., 2024).

Por fim, vale salientar aqui que estes dados também advertem sobre a quantidade de resíduos ricos em cálcio que deve ser incorporada ao solo. Para se evitar que resíduos de gesso violem a faixa do pH que confere ótima disponibilidade de nutrientes, 5,5 a 6,5, a gessagem com estes resíduos não deveria ultrapassar 28 mil kg ha⁻¹; e no caso da casca-de-ovo (e também da gessagem) associada a adubos verdes, sugere-se que o pH seja sempre aferido antes da implantação da cultura e, se for o caso, que ele seja corrigido com enxofre elementar ou com calcário calcítico, de modo que não se corra o risco de se resolver o problema da sodicidade do solo e, ao mesmo tempo, camuflar-se os efeitos benéficos desta prática. A necessidade de gessagem do solo (NG em Kg ha⁻¹), utilizando resíduos de gesso como corretivos de sodicidade, poderá ser estimada a partir da condutividade elétrica de extrato de solo 1:5 (CE em $\mu\text{S cm}^{-1}$), conforme equações lineares presentes na *Figura 4* – para o pó de placas-de-gesso: $\text{NG} = (\text{CE} - 631,4)/0,004$; para borra-de-gesso (e gesso mineral): $\text{NG} = (\text{CE} - 274,247)/0,005$; e para gesso mineral mais adubos verdes: $\text{NG} = (\text{CE} - 143,839)/0,005$.

5. Conclusão

Resíduos de gesso (placas-de-gesso e borra-de-gesso) e casca-de-ovo corrigem a sodicidade do solo, em especial quando combinados com resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil, chegando, inclusive, a eliminar 99% do sódio retido no solo. Este fato é evidenciado pela limpidez do lixiviado do solo, pelo aumento da condutividade elétrica do solo, e pela redução do pH e saturação por sódio, particularmente quando a casca-de-ovo é combinada com resíduos de poda urbanos de Pau-Brasil. Quando placas de gesso (doses 15.722, 20.000 e 28.000 kg ha⁻¹) são utilizadas como corretivo do sodicidade, plantas de arroz crescem mais, incrementando a matéria seca da planta inteira em mais de 356%, o que é aparentemente explicado, no solo, pela diminuição da razão Mg/Ca e, na parte aérea, pelo ajuste da razão K/Na. Há de perscrutar-se, contudo, a contribuição de forrageiras natrofilicas e de substituições de K por Na na recuperação de solos degradados por sodicidade.

Agradecimentos

Agradecemos às obsequiosidades demonstradas por Jane & Tana, com particular (e imenso) carinho por Francisca Jane Campos Araujo, que, mesmo não estando mais entre nós – devido a um procedimento de embolização feito pelo Hospital Santo Antônio (Fundação Otilia Correia Saraiva) em Barbalha-CE, Brasil –, perseverou (e em muito!) diuturnamente para que nossa equipe adquirisse o necessário para realização de nossas pesquisas, afagando incondicionalmente nosso trabalho, inclusive a produção intelectual. Agradecemos também à Faculdade de Ciências Agrárias de Araripina (FACIAGRA), em especial ao Sr. Francisco, à Papelaria Líder, à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), à Cooperativa Mista Agropecuária dos Produtores Rurais de Mandioca da Chapada do Araripe (COOPERAMA), à Baraúna Consultoria e Planejamento Ambiental, ao Programa Pernambuco na Universidade (PROUNI-PE) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano pela infraestrutura e pelo apoio econômico disponibilizados.

Referências

Afrasinei, G.-M., Melis, M. T., Buttou, C., Arras, C., Pistis, M., Zerrim, A., . . . Zaid, M. B. (2017). Classification methods for detecting and evaluating changes in desertification-related features in arid and semiarid environments. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 2, 1-19. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s41207-017-0021-1>

- Alencar, L. H., de Miranda Mota, C. M., & Alencar, M. H. (2011). The problem of disposing of plaster waste from building sites: problem structuring based on value focus thinking methodology. *Waste management*, 31 (12), 2512-2521 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.06.015>
- Allbed, A., & Kumar, L. (2013). Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review. *Advances in remote sensing*, 2 (4). DOI: <https://doi.org/10.4236/ars.2013.24040>
- Araujo, K. E. C., Torres Júnior, C. V., Guimarães, A. P., Silva, M. A. d., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., & Boddey, R. M. (2019). Natural abundance of ¹⁵N of N derived from the atmosphere by different strains of *Bradyrhizobium* in symbiosis with soybean plants. *Ciência Rural*, 49.
- Araujo, K. E. C., Vergara, C., dos Santos, R. C., Santos, W. d. M., de Freitas Souza, R., de Farias Silva, C., . . . Boddey, R. M. (2023). Can 15N leaf-labelling reliably quantify rhizodeposited nitrogen remaining after a nodulated legume crop? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 125 (2), 235-260. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-022-10238-w>
- Araujo, K. E. C., Vergara, C., Guimarães, A. P., Rouws, J. R. C., Jantalia, C. P., Urquiaga, S., . . . Boddey, R. M. (2018). Changes in 15N natural abundance of biologically fixed N₂ in soybean due to shading, rhizobium strain and plant growth stage. *Plant and Soil*, 426 (1), 413-428. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3627-4>
- Araujo, S. M. S. d. *O polo Gesseiro do Araripe: unidades geo-ambientais e impactos da mineração*. [Tese (Doutorado em Ciências), Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas], Campinas, SP, 2004.
- Batelli, G., Verslues, P. E., Agius, F., Qiu, Q., Fujii, H., Pan, S., . . . Zhu, J.-K. (2007). SOS2 Promotes Salt Tolerance in Part by Interacting with the Vacuolar H⁺-ATPase and Upregulating Its Transport Activity. *Molecular and Cellular Biology*, 27 (22), 7781-7790. DOI: <https://doi.org/10.1128/MCB.00430-07>
- Brini, F., & Masmoudi, K. (2012). Ion Transporters and Abiotic Stress Tolerance in Plants. *International Scholarly Research Notices*, 2012 (1), 927436. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.5402/2012/927436>
- Cardoso, F. A., Agopyan, A. K., Carbone, C., Pileggi, R. G., & John, V. M. (2009). Squeeze flow as a tool for developing optimized gypsum plasters. *Construction and Building Materials*, 23 (3), 1349-1353. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.07.017>
- Castro, F. C., & Santos, A. M. d. (2020). Salinity of the soil and the risk of desertification in the semiarid region. *Mercator; Vol 19 (2020)DO - 10.4215/rm2020.e19002*. <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/2269>
- Cavalcanti, F. J. d. A. *Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco* (Vol. 2). Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária-IPA, Recife-PE, 2008.
- Cunha, W. R. X., Silva Filho, G. B., Bom, H. A. S. C., Fonseca, S. M. C., Wicpolt, N. S., Pontes, R. M., . . . Mendonça, F. S. (2022). Hyponatremia in sheep in Northeastern Brazil. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 42.
- Damasceno, M. L. *Análise da biomassa florestal do polo gesseiro da Região do Araripe-Pernambuco a partir de índices de vegetação*. [Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação), Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE], Recife, PE, Brasil, 2020.
- EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos* (5ª ed.). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, DF, 2018.
- Freire, M., & Freire, F. J. (2007). Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. *Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 929-954.
- Fust, W. (2021). *Human impact report: Climate change—the anatomy of a silent crisis*. https://www.warmheartworldwide.org/what-is-climate-change.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw0MexBhD3ARIsAEI3WHJ44qVetBeXBOLA-0Yp5Kh50WCMI1jrtTBbr4-O5KpFSEX97iW2smYaAiPkEALw_wcB
- Galvão, J. R., Casanova, S. R. A., Souza, F. J. L., de Carvalho Santana, M. A., Pacheco, M. J. B., de Assis, L. F. C. T., . . . de Araújo, D. G. (2020). Utilização da casca de ovo como fonte de correção da acidez do solo. *Nature and Conservation*, 13(2), 77-81. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2020.002.0008>
- Gelburd, D. E. (1985). Managing salinity lessons from the past. *Journal of Soil and Water Conservation*, 40(4), 329. <http://www.jswnonline.org/content/40/4/329.abstract>
- George, E., Horst, W. J., & Neumann, E. (2012). Chapter 17 - Adaptation of Plants to Adverse Chemical Soil Conditions. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition)* (pp. 409-472). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00017-0>
- Goes, E. d. O. (1978). O problema de salinidade e drenagem em projetos de irrigação do Nordeste e a ação da pesquisa com vistas a seu equacionamento. *Reunião Sobre Salinidade em Áreas Irrigadas. Fortaleza, Anais...: SUDENE/DNOCs*, 1-34.
- Gomes, E. M., Gheyi, H. R., & Silva, Ê. F. d. F. e. (2000). Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4.
- Hasegawa, P. M. (2013). Sodium (Na⁺) homeostasis and salt tolerance of plants. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 19-31. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.03.001>
- Hawker, J., Marschner, H., & Downton, W. (1974). Effects of Sodium and Potassium on Starch Synthesis in Leaves. *Functional Plant Biology*, 1(4), 491-501. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1071/PP9740491>
- Holanda, J. S., Vitti, G. C., Salviano, A. A. C., Medeiros, J. D. F., & Amorim, J. R. A. (1998). Alterações nas propriedades químicas de um solo aluvial salino-sódico decorrentes da subsolagem e do uso de condicionadores. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22.

- Jeschke, W. D. (1977). K^+ — Na^+ Exchange and Selectivity in Barley Root Cells: Effect of Na^+ on the Na^+ Fluxes. *Journal of Experimental Botany*, 28(107), 1289-1306. <http://www.jstor.org/stable/23689559>
- Leighton, M., Notini, J., & Le Page, M. (1994). Desertification and Migration: Mexico and the United States. *Research Paper of the US Commission on Immigration*.
- Leite, E. M., Cavalcante, L. F., Diniz, A. A., dos Santos, R. V., da Silva Alves, G., & Cavalcante, I. H. L. (2007). Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. *IRRIGA*, 12(2), 168-176. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2007v12n2p168-176>
- Leite, M. H., Santos, R. V. d., Gomes, A. D. V., & Vital, A. d. F. M. (2012). Aplicação de corretivos e crescimento de oleaginosas em solos salinizados do semiárido. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 7(1), 87 - 95. <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/840>
- Lepsch, I. F. *19 lições de pedologia* (2 ed.). Oficina de textos, São Paulo, SP, Brasil, 310p, 2021.
- Liang, Q., Chen, L., Yang, X., Yang, H., Liu, S., Kou, K., . . . Yuan, Y. (2022). Natural variation of Dt2 determines branching in soybean. *Nature Communications*, 13(1), 6429. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34153-4>
- Lin, H., Yang, Y., Quan, R., Mendoza, I., Wu, Y., Du, W., . . . Guo, Y. (2009). Phosphorylation of SOS3-LIKE CALCIUM BINDING PROTEIN8 by SOS2 Protein Kinase Stabilizes Their Protein Complex and Regulates Salt Tolerance in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 21(5), 1607-1619. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.109.066217>
- Lopes, D. I., Vergara, C., Araujo, K. E. C., & Saraiva, E. C. (2023). Uso da mucuna-preta e vermicomposto como adubo orgânico de alface em Moçambique. *Research, Society and Development*, 12(2), e17512240017. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i2.40017>
- Ma, J. F., Zhao, F.-J., Rengel, Z., & Cakmak, I. (2023). Chapter 8 - Beneficial elements☆☆This chapter is a revision of the third edition chapter by M. Broadley, P. Brown, I. Cakmak, J.F. Ma, Z. Rengel, and F.J. Zhao, pp. 249–269. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00008-X>. © Elsevier Ltd. In Z. Rengel, I. Cakmak, & P. J. White (Eds.), *Marschner's Mineral Nutrition of Plants (Fourth Edition)* (pp. 387-418). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00012-5>
- Malagoli, P., Britto, D. T., Schulze, L. M., & Kronzucker, H. J. (2008). Futile Na^+ cycling at the root plasma membrane in rice (*Oryza sativa* L.): kinetics, energetics, and relationship to salinity tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 59(15), 4109-4117. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/em249>
- Mandal, U. K., Bhardwaj, A. K., Warrington, D. N., Goldstein, D., Bar Tal, A., & Levy, G. J. (2008). Changes in soil hydraulic conductivity, runoff, and soil loss due to irrigation with different types of saline–sodic water. *Geoderma*, 144(3), 509-516. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.01.005>
- Marschner, H. *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3. ed.). Academic press, Elsevier, 2011. 0123849063.
- Milford, G. F. J., Cormack, W. F., & Durrant, M. J. (1977). Effects of Sodium Chloride on Water Status and Growth of Sugar Beet. *Journal of Experimental Botany*, 28(6), 1380-1388. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/28.6.1380>
- Musson, S. E., Xu, Q., & Townsend, T. G. (2008). Measuring the gypsum content of C&D debris fines. *Waste management*, 28(11), 2091-2096. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.012>
- Naidu, D. (1993). Distribution, properties and management of sodic soils - an introduction. *Soil Research*, 31(6), 681-682. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1071/SR9930681>
- Niaz, B., Ahmed, M., Hussain, N., & Salim, M. (2001). Comparison of sand, gypsum and sulphuric acid to reclaim a dense saline sodic soil. *International Journal of Agriculture and Biology*, 3(3), 316-318.
- Nunes, M. A., Dias, M. A., Correia, M. M., & Oliveira, M. M. (1984). Further Studies on Growth and Osmoregulation of Sugar Beet Leaves under Low Salinity Conditions. *Journal of Experimental Botany*, 35 (3), 322-331. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/35.3.322>
- Pampolino, M. F., & Hatano, R. (2000). Comparison between conventional soil tests and the use of resin capsules for measuring P, K, and N in two soils under two moisture conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 46(2), 461-471. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.2000.10408799>
- Pereira, A. S., Shitsuka, D., Parreira, F., & Shitsuka, R. *Metodologia da pesquisa científica [recurso eletrônico]* (1 ed.). UFSM, NTE, Santa Maria, RS, Brasil, 2018. 978-85-8341-204-5.
- Pereira, E. G., Saraiva, A. G., Da Silva, C. S. R. D. A., Gomes, L. B. E., Almeida, L. C. H., De Moura, O. V. T., . . . Fernandes, M. S. (2020). Alterações nos teores de metabólitos solúveis em plantas de arroz submetidas a estresse salino / Alteration in soluble metabolites content in rice plants subjected to salt stress. *Brazilian Journal of Development*, 6(4), 19612-19620. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-214>
- Prado, H. d., & Prado, T. A. B. d. *Pedologia fácil: aplicações em solos tropicais* (6 ed.). Edição do Autor, Piracicaba, SP, Brasil, 324p, 2022. 8590133028.
- Ribeiro, M., Barros, M. d. C., & Freire, M. (2016). Química dos solos salinos e sódicos. In *Química e mineralogia do solo. Parte II–Aplicações* (pp. 449-484). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Ribeiro, M. R., Ribeiro Filho, M., & Jacomine, P. (2016). Origem e classificação dos solos afetados por sais. In R. G. Hans, d. S. D. Nildo, F. d. L. Claudivan, & G. F. Enéas (Eds.), *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados* (2 ed., pp. 9-14). INCTSal.
- Santos, M. d. F. G. d., Oliveira, F. A. d., Cavalcante, L. F., Medeiros, J. F. d., & Souza, C. C. d. (2005). Solo sódico tratado com gesso agrícola, composto de lixo urbano e vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9.
- Santos, P. M. d., Rolim, M. M., Duarte, A. d. S., Barros, M. d. F. C., & Silva, Ê. F. d. F. e. (2014). Uso de resíduos de gesso como corretivo em solo salino-sódico. *Tropical agricultural research*, 44(1), 95-103. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000100004>

- Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K. H., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R. K., . . . Nayyar, H. (2018). Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1705. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01705>
- Shi, H., Ishitani, M., Kim, C., & Zhu, J.-K. (2000). The *Arabidopsis thaliana* salt tolerance gene *SOS1* encodes a putative Na⁺/H⁺ antiporter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97 (12), 6896-6901. DOI: <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.120170197>
- Shitsuka, R., et al. *Matemática fundamental para tecnologia* (2 ed.). Editora Erica, 2014. 9788536502359.
- Shukla, P. R., Skeg, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., . . . Malley, J. *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. 2019.
- Singh, A. (2015). Soil salinization and waterlogging: A threat to environment and agricultural sustainability. *Ecological Indicators*, 57, 128-130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.04.027>
- Singh, G. (2009). Salinity-related desertification and management strategies: Indian experience. *Land Degradation & Development*, 20 (4), 367-385. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ldr.933>
- Smith, G. S., Middleton, K. R., & Edmonds, A. S. (1978). A classification of pasture and fodder plants according to their ability to translocate sodium from their roots into aerial parts. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 6(3), 183-188. DOI: <https://doi.org/10.1080/03015521.1978.10426039>
- Souza Cavalcanti, N., Rolim, M. M., Júnior, J. A. S., Barros, M. d. F. C., & Pedrosa, E. M. R. (2018). Resíduo de gesso na recuperação de solo salino-sódico proveniente de perímetro irrigado do semiárido brasileiro. *IRRIGA*, 23(3), 505-517. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.15809/irriga.2018v23n3p505-517>
- Sposito, G. (2008). *The chemistry of soils*. Oxford university press, 2008. 0195313690.
- Tan, T., Cai, J., Zhan, E., Yang, Y., Zhao, J., Guo, Y., & Zhou, H. (2016). Stability and localization of 14-3-3 proteins are involved in salt tolerance in *Arabidopsis*. *Plant Molecular Biology*, 92(3), 391-400. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11103-016-0520-5>
- Team, R. C. (2023). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Vergara, C., & Araujo, K. E. C. (2024). Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis: From Infection Signaling to Bidirectional Nutrient Exchanges. In M. Parihar, A. Rakshit, A. Adholeya, & Y. Chen (Eds.), *Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Sustainable Agriculture: Inoculum Production and Application* (pp. 401-418). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0296-1_18
- Vergara, C., Araujo, K. E. C., Alves, L. S., Souza, S. R. d., Santos, L. A., Santa-Catarina, C., . . . Zilli, J. É. (2018). Contribution of dark septate fungi to the nutrient uptake and growth of rice plants. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49.
- Vergara, C., Araujo, K. E. C., Pereira, E. E. d. S., Oliveira, F. F. d., Silva, I. K. d., Souza, F. K. d. S., & Jericó, R. (2024). Gypsum boards and eggshells facilitate the accumulation of dry matter and nutrients in tomato vegetative structures. *Research, Society and Development*, 13(8), e9013846627. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i8.46627>
- Vergara, C., Araujo, K. E. C., Santos, A. P., Oliveira, F. F. d., Silva, G. d. S., Miranda, N. d. O., . . . Medeiros, J. F. d. (2024). Use of crushed eggshell to control tomato blossom-end rot. *Research, Society and Development*, 13(5), e2213545667. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i5.45667>
- Vergara, C., Araujo, K. E. C., Souza, S. R. d., Schultz, N., Saggin, O. J., Sperandio, M. V. L., & Zilli, J. É. (2019). Plant-mycorrhizal fungi interaction and response to inoculation with different growth-promoting fungi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54, e25140. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.25140>
- Vergara, C., Araujo, K. E. C., Sperandio, M. V. L., Santos, L. A., Urquiaga, S., & Zilli, J. É. (2019). Dark septate endophytic fungi increase the activity of proton pumps, efficiency of 15 N recovery from ammonium sulphate, N content, and micronutrient levels in rice plants. *Brazilian Journal of Microbiology*, 50, 825-838. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42770-019-00092-4>
- Vergara, C., Araujo, K. E. C., Urquiaga, S., Santa-Catarina, C., Schultz, N., da Silva Araújo, E., . . . Zilli, J. É. (2018). Dark Septate Endophytic Fungi Increase Green Manure-(15)N Recovery Efficiency, N Contents, and Micronutrients in Rice Grains. *Frontiers in Plant Science*, 9, 613. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00613>
- Vergara, C., Araujo, K. E. C., Urquiaga, S., Schultz, N., Balieiro, F. d. C., Medeiros, P. S., . . . Zilli, J. E. (2017). Dark Septate Endophytic Fungi Help Tomato to Acquire Nutrients from Ground Plant Material [Original Research]. *Frontiers in Microbiology*, 8(2437). DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02437>
- Vergara, C., Araujo, K. E. C., & Zilli, J. É. (2023). Physiological changes in tomato colonized by dark septate endophytic fungi. *Research, Society and Development*, 12 (4), e28712441188-e28712441188. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.33448/rsd-v12i4.41188>
- Viégas, R. A., Silveira, J. A. G. d., Lima Junior, A. R. d., Queiroz, J. E., & Fausto, M. J. M. (2001). Effects of NaCl-salinity on growth and inorganic solute accumulation in young cashew plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5.
- Vieira, S. *Introdução à bioestatística*. Editora GEN/Guanabara Koogan, 2021.
- Yamaguchi, T., & Blumwald, E. (2005). Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in plant science*, 10(12), 615-620. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.10.002>
- Yang, Y., & Guo, Y. (2018). Unraveling salt stress signaling in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 60(9), 796-804. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jipb.12689>
- Zhou, H., Lin, H., Chen, S., Becker, K., Yang, Y., Zhao, J., . . . Guo, Y. (2014). Inhibition of the *Arabidopsis* Salt Overly Sensitive Pathway by 14-3-3 Proteins. *The Plant Cell*, 26(3), 1166-1182. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.113.117069>