



# Comparativo da Eficácia Cal e da Cinza de Casca de Arroz como Estabilizantes Químicos para Solos Expansivos em Agrestina e Paulista, Pernambuco

Geovanna Karla da Silva Simões

Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil,  
geovanna.simoes@ufpe.br

Arthur Vinícius Freire Silva Ramos

Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil,  
arthur\_vinicios\_@hotmail.com

João Paulo Marçal de Souza

Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, joao.marcal@ufpe.br

Silvio Romero de Melo Ferreira

Professor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, silvio.mferreira@ufpe.br

Fábio Lopes Soares

Professor, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, flseng@uol.com.br

**RESUMO:** O estudo investiga a eficácia comparativa de dois estabilizantes químicos utilizados — cal hidratada e cinza de casca de arroz (CCA) — na estabilização de solos expansivos em duas localidades de Pernambuco: Agrestina e Paulista. Por meio de uma revisão bibliográfica e da análise comparativa de propriedades físicas e químicas dos solos naturais e tratados, destacou-se diferenças significativas nos comportamentos expansivo e mecânico entre os locais. A cal mostrou-se mais eficaz em solos de Agrestina, promovendo aumentos expressivos no pH e melhorando a resistência mecânica. Já a CCA apresentou benefícios mais pronunciados em Paulista, com redução de fissuras e melhoria nas propriedades físicas. Os resultados enfatizam que a escolha do estabilizante ideal deve considerar as condições locais e os objetivos específicos do projeto. Este trabalho reforça a importância de abordagens contextuais para a estabilização de solos e sugere futuras pesquisas sobre combinações de aditivos para maximizar eficiência técnica e sustentabilidade ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** : Estabilização Química, Solos Expansivos, Cinza de Casca de Arroz, Cal, Pernambuco.

**ABSTRACT:** This study investigates the comparative effectiveness of two used chemical stabilizers — hydrated lime and rice husk ash (RHA) — in the stabilization of expansive soils in two locations in Pernambuco, Brazil: Agrestina and Paulista. Based on a bibliographic review and a comparative analysis of the physical and chemical properties of both natural and treated soils, significant differences were identified in the expansive and mechanical behavior between the two sites. Hydrated lime proved to be more effective in the soils of Agrestina, promoting notable increases in pH and improvements in mechanical strength. In contrast, RHA showed more pronounced benefits in Paulista, including crack reduction and enhancement of the soil's physical properties. The results underscore that the selection of the most suitable stabilizer must take into account the specific local conditions and project objectives. This work reinforces the relevance of context-sensitive approaches to soil stabilization and recommends further research into additive combinations aimed at maximizing technical performance and environmental sustainability.

**KEYWORDS:** Chemical Stabilization, Expansive Soils, Rice Husk Ash, Lime, Pernambuco.



## 1 INTRODUÇÃO

Os solos expansivos são conhecidos por sua alta plasticidade e comportamento de retração e expansão em resposta às variações de umidade (VILAR e FERREIRA, 2015). Essa característica os torna um dos tipos de solos mais problemáticos na engenharia civil, especialmente em países como o Brasil, onde essas formações são encontradas em diversas regiões.

A estabilização de solos é uma solução amplamente adotada para mitigar os efeitos negativos dos solos expansivos. Dentre as abordagens disponíveis, os métodos químicos, como o uso de cal e casca de cinzas de arroz têm mostrado resultados promissores na melhoria das propriedades mecânicas e na redução da expansividade do solo. Cada uma dessas técnicas apresenta vantagens e limitações que devem ser analisadas diante das características específicas dos solos brasileiros.

Diante disso, este artigo realiza uma revisão da literatura sobre a eficiência dos dois tipos de estabilizantes para solos expansivos mais pesquisados nas últimas décadas no Brasil. O objetivo é estudar duas áreas do estado de Pernambuco (Agrestina e Paulista) e analisar os resultados obtidos com o uso de estabilizantes químicos, como a cal e casca de cinza de arroz, discutindo suas aplicabilidades.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Solos Expansivos no Brasil

Solos expansivos, predominantemente argilosos e não saturados, apresentam comportamento peculiar em relação à umidade: na estação seca, a perda de umidade resulta em fissuras e fragmentação do solo; na chuvosa, ocorre absorção de água, fechamento das fissuras e elevação do terreno, como ilustrado na Figura 1.



Figura 1: Esquema ilustrativo do comportamento típico de solos expansivos durante as estações seca e úmida

Essas variações causam movimentações e deformações nas estruturas, em função de sua mineralogia e das condições ambientais (FERREIRA & XAVIER FERREIRA, 2009). Segundo Ferreira *et al.* (2012), os solos expansivos foram identificados nas regiões Sul-Sudeste do Brasil, abrangendo os estados de Santa Catarina, São Paulo e Paraná, e no Nordeste, desde o norte da Bahia até Pernambuco e Ceará.

### 2.3 Município de Agrestina-PE e Paulista-PE

O município de Agrestina, em Pernambuco, de acordo com o IBGE (2016), possui uma população de 22.679 habitantes, abrangendo uma área de 200,581 km<sup>2</sup>. O clima de Agrestina-PE é classificado como tropical, apresentando variação significativa na pluviometria ao longo do ano, Figura 2A. Os meses de julho e novembro registram, respectivamente, as maiores e as menores precipitações anuais (SILVA, 2018).

Ademais, dados do IBGE (2010) informa que o município de Paulista, em Pernambuco, conta com uma população de 300.466 habitantes e uma densidade populacional de 3.087,66 habitantes/km<sup>2</sup>. Conforme Araújo (2023), o solo de Paulista-PE é caracterizado por sua elevada expansividade, figurando entre os mais desafiadores para a construção civil na região. Além disso, Paulista-PE apresenta um clima tropical úmido, com as chuvas mais intensas concentradas entre abril e julho, Figura 2B. Segundo o Instituto Nacional de



Meteorologia (INMET, 2025) a pluviosidade média anual ultrapassa 1.700 mm.

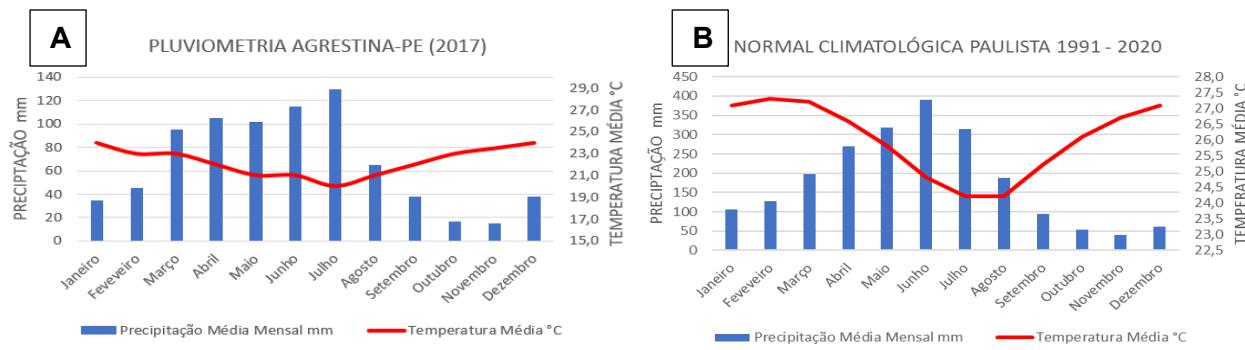


Figura 2 – Dados Climático de Agrestina-PE e Paulista-PE

Essa variação significativa na pluviometria ao longo do ano, marcada pelos meses mais chuvosos e mais secos, intensifica os ciclos de umedecimento e secagem do solo, favorecendo alterações volumétricas características dos solos expansivos. Esses ciclos criam condições propícias para a formação de fissuras e deformações, como os encontrados tanto na região de Agrestina-PE, como no solo de Paulista-PE.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo baseou-se em uma revisão bibliográfica e análise comparativa de dados disponíveis na literatura científica sobre a estabilização de solos expansivos com cal e cinza de casca de arroz (CCA), com foco nas localidades de Agrestina e Paulista, em Pernambuco. A pesquisa envolveu levantamento de publicações brasileiras dos últimos 20 anos (2004–2024), incluindo artigos, dissertações, teses e anais, com destaque para os trabalhos de Silva (2018) e Bezerra (2020). Os parâmetros geotécnicos analisados incluíram propriedades físicas (granulometria, densidade dos grãos, limites de Atterberg), índice de expansão livre, tensão de expansão e propriedades químicas dos solos e misturas. Os dados foram organizados para identificar padrões, diferenças e a eficácia dos estabilizantes em cada local. A análise crítica final avaliou o impacto da cal e da CCA na redução da expansividade e nas alterações físico-químicas dos solos, considerando o comportamento distinto dos solos de Agrestina e Paulista frente aos aditivos.

### 4 PRINCIPAIS ESTABILIZANTES QUÍMICOS DE SOLOS EXPANSIVOS NO BRASIL

#### 4.1 Estabilizantes Químicos

Como resultado da pesquisa bibliográfica realizada neste trabalho, constatou-se que nas duas últimas décadas, os estudos sobre estabilização química com cal e cinza de casca de arroz (CCA) são os mais realizados no Brasil nesta temática, sejam estudados em conjunto ou separadamente. A Figura 3 expõe esses resultados.

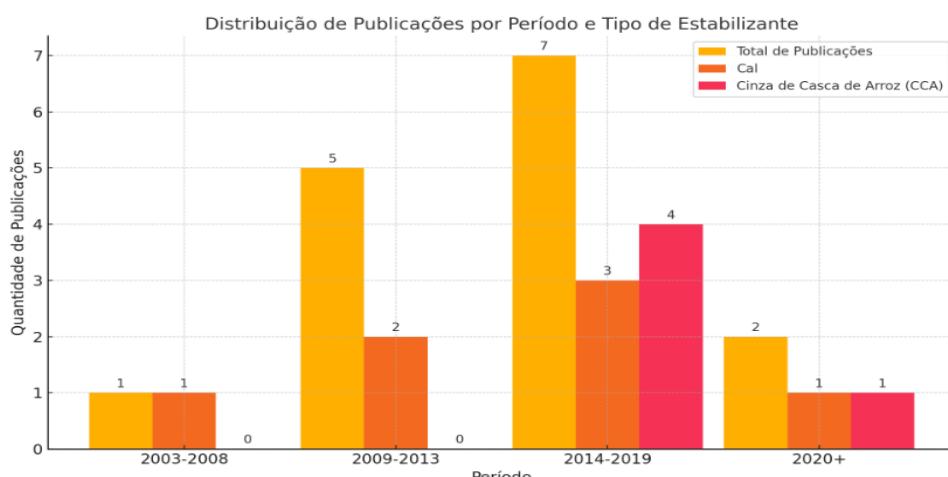


Figura 3: Distribuição de publicações por período e tipo de estabilizante químico no Brasil.



#### 4.1.1 *Estabilização de Solos com Cal*

A cal tem sido amplamente utilizada na estabilização de solos expansivos devido à sua capacidade de melhorar as propriedades físicas e mecânicas do solo (ABASS, 2014). A adição de cal ao solo provoca alterações significativas nas suas propriedades, como redução da plasticidade, da expansão e da contração, como apontado por Bento (2006). Quando adicionada, a cal eleva rapidamente o pH do solo e modifica suas características químicas. O cálcio presente impede a penetração de água nos vazios dos argilominerais, neutralizando suas cargas negativas, o que favorece a floculação e a troca catiônica.

Segundo Barbosa (2013), a cal possui propriedades físico-químicas capazes de alterar a microestrutura das partículas do solo. O tratamento com cal reduz as variações volumétricas do solo, promovendo a floculação das partículas, diminuindo a expansão e a contração, e formando uma matriz cimentante. Essa redução está associada à menor afinidade das argilas saturadas pelo íon cálcio com a água (FERREIRA et al., 2017).

#### 4.1.2 *Estabilização de Solos com Cinza de Casca de Arroz (CCA)*

A cinza de casca de arroz (CCA) é um resíduo agroindustrial, com grande potencial pozolânico, tornando-se uma alternativa sustentável e eficaz para a estabilização de solos expansivos. Isso porque, a casca de arroz desperta preocupações ambientais devido à alta geração de cinza durante processos de parboilização.

A cinza de casca de arroz é composta majoritariamente por sílica amorfa ( $\text{SiO}_2$ ), que representa mais de 80% de sua composição. Essa característica é fundamental para a reatividade pozolânica da CCA, permitindo a formação de compostos cimentantes ao reagir com hidróxidos presentes no solo ou em aditivos como a cal. Além disso, a CCA contém óxidos importantes, como a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e o ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), que contribuem para a sua capacidade de melhorar as propriedades químicas e mecânicas do solo tratado (BEZERRA, 2020).

Um dos principais benefícios da cinza de casca de arroz (CCA) é o aumento da resistência à compressão. Ademais, a CCA contribui para a redução da retração e do potencial de fissuração, sendo especialmente eficaz em solos com altos índices de plasticidade. Outro aspecto positivo é a melhoria nas características físicas do solo, como o aumento da densidade e os ajustes nos limites de Atterberg (ADHIKARY e JANA, 2016).

### 5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PRINCIPAIS TIPOS DE ESTABILIZANTES QUÍMICOS DE SOLOS EXPANSIVOS NO BRASIL

#### 5.1 Escolha das Proporções de Mistura

Para o solo de Agrestina-PE, Silva (2018) utilizou as porcentagens de 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12% e 14% de cinza de casca de arroz (CCA). Em relação ao teor de cal-hidratada, utilizou-se as porcentagens de 1%, 3%, 5%, 7%, 9%, 11% e 13% para a mesma área. Já para o solo de Paulista-PE, Bezerra (2020) utilizou percentuais de 10% para a cinza de casca de arroz (CCA) e de 5% para a cal.

#### 5.2 Caracterização Física do Solo

A Tabela 1 apresenta o resumo da análise da caracterização física do solo natural de Agrestina-PE e do solo natural de Paulista-PE.

Tabela 1 – Caracterização Física do solo de Agrestina-PE e Paulista-PE

Solo	Agrestina-PE (Silva, 2018)	Paulista-PE (Bezerra, 2020)
Pedregulho (%)	1,00	0,28
Areia (%)	47,00	28,57
Silte (%)	11,00	17,75
Argila (%)	41,00	53,40
Relação Silte/Argila	26,80	33,20
Classificação SUCS	CL ou CH	CH



As amostras de solo de Agrestina-PE foram caracterizadas como CL ou CH de acordo com a classificação SUCS e as amostras de Paulista-PE foram caracterizadas como CH pela classificação do SUCS.

### 5.3 Caracterização Física da Mistura Solo + Aditivo

Em Agrestina-PE, ao analisar a Tabela 2, observa-se que, o Limite de Plasticidade (LP) apresentou aumento contínuo com o incremento de cinza de casca de arroz (CCA), enquanto o Limite de Liquidez (LL) permaneceu aproximadamente constante, resultando na redução do Índice de Plasticidade (IP). Com 14% de CCA, o IP atingiu valores próximos a zero, indicando menor plasticidade da mistura. Ademais, a umidade ótima aumentou e a densidade seca máxima diminuiu com a adição de CCA.

Tabela 2 - Caracterização Física da Mistura Solo + Aditivo para o solo de Agrestina-PE

Material	Teor de Aditivo (%)	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índ. Plasticidade (%)	$\gamma_d$ máx. (kN/m <sup>3</sup> )	Umidade ótima (%)
<b>Cinza de casca de arroz (CCA)</b>	Solo Natural	50,00	20,00	30,00	17,90	16,00
	Solo + 2%	44,42	22,56	21,86	17,15	18,30
	Solo + 4%	40,69	21,42	19,27	16,85	18,90
	Solo + 6%	44,64	31,16	13,48	16,58	19,30
	Solo + 8%	41,96	31,13	10,83	16,20	20,00
	Solo + 10%	44,63	41,65	2,98	15,80	21,50
	Solo + 12%	44,73	43,13	1,60	15,25	24,00
	Solo + 14%	52,12	52,23	0,89	14,10	28,00
<b>Cal-hidratada</b>	Solo Natural	50,00	20,00	30,00	17,90	16,00
	Solo + 1%	48,99	25,95	23,04	17,80	16,20
	Solo + 3%	58,77	23,27	35,50	17,20	17,20
	Solo + 5%	55,50	26,31	29,19	16,40	18,00
	Solo + 7%	49,96	37,06	12,90	16,30	20,00
	Solo + 9%	52,57	39,65	12,92	16,98	17,20
	Solo + 11%	50,20	40,81	09,39	16,70	17,50
	Solo + 13%	58,23	44,77	13,46	16,55	17,80

Já a adição de cal promoveu um aumento no Limite de Plasticidade (LP), devido às reações de flocação e cimentação provocadas pela interação do cálcio com as partículas de argila. Além disso, a cal influenciou os parâmetros de compactação, aumentando a umidade ótima e reduzindo levemente o peso específico seco máximo, indicando maior necessidade de água para atingir a consistência plástica.

Em comparação à cinza de casca de arroz (CCA), a cal apresentou maior reatividade química e eficácia em teores mais baixos, como 3% a 7%. No entanto, o aumento contínuo do teor de cal além de 9% resultou em uma estabilização quase constante, sugerindo um limite para ganhos adicionais.

Continuando a análise, já para o solo de Paulista-PE, Bezerra (2020) comparou-se os valores obtidos para a mistura de solo + 10% de CCA e a mistura de solo + 5% de cal como os resultados de Constantino (2018) e Paiva (2016) para os mesmos teores de CCA e cal-hidratada, respectivamente. Além disso, os valores de peso específico aparente seco máximo e umidade ótima foram extraídos de Lacerda (2019), um estudo anterior que utilizou das cinzas de casca de arroz da mesma fábrica de arroz, para fins comparativos. A Tabela 3 apresenta a síntese desses resultados.

Tabela 3 - Caracterização Física da Mistura Solo + Aditivo para o solo de Paulista-PE

Material	Teor de aditivo (%)	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Índ. de Plasticidade (%)	$\gamma_d$ máx (kN/m <sup>3</sup> )	Umidade ótima (%)
<b>Cinza de casca de arroz (CCA)</b>	Constantino (2018)	Solo Natural	58,00	25,00	33,00	-
		Solo + 10%	61,00	29,00	32,00	-
<b>Bezerra (2020)</b>	Bezerra	Solo Natural	74,00	26,00	48,00	16,85
		Solo + 10%	77,00	29,00	48,00	5,15*
						109,0*



Cal	Paiva (2016)	Solo Natural	61,00	31,00	30,00	17,90	16,00
		Solo + 5%	54,00	42,00	12,00	17,80	16,20
Bezerra (2020)	Solo Natural	74,00	26,00	48,00	17,20	17,20	
	Solo + 5%	78,00	27,00	51,00	16,40	18,00	

\*Lacerda (2019)

Os resultados indicam que a cinza de casca de arroz (CCA) foi eficaz na redução do Índice de Plasticidade (IP), para teores de 10%, onde a plasticidade do solo diminuiu, segundo dados de extraídos de Constantino (2018). Por outro lado, a cal mostrou mais eficácia na redução da plasticidade para o solo de Paulista-PE estudado por Paiva (2016), se provavelmente se deve ao fato de Bezerra (2020) ter realizado os ensaios de limites sem o destorramento e a secagem prévia do solo.

#### 5.4 Expansão “Livre” e Tensão de Expansão

As expansões “livres” e as tensões de expansão para o solo do município de Agrestina-PE serão expostas a seguir na Tabela 4, na qual estão os resultantes do solo natural e das misturas com 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12% e 14% de CCA, e de solo natural e das misturas com 3%, 5%, 7%, 9%, 11% e 13% de cal.

Tabela 4 – Expansão “Livre” e Tensão de Expansão para o solo de Agrestina-PE

Material		Expansão “Livre” (%)	Tensão de Expansão (kPa)
<b>Cinza de casca de arroz (CCA)</b>	Solo Natural	6,58	100,00
	Solo + 2%	13,36	48,11
	Solo + 4%	11,09	43,61
	Solo + 6%	10,91	37,22
	Solo + 8%	8,41	37,22
	Solo + 10%	4,67	22,22
	Solo + 12%	4,31	18,88
	Solo + 14%	1,47	10,27
	Solo Natural	22,34	215
<b>Cal</b>	Solo + 3%	2,44	15,42
	Solo + 5%	0,61	4,48
	Solo + 7%	0,47	2,19
	Solo + 9%	0,22	0,83
	Solo + 11%	-	0,83
	Solo + 13%	-	0,83

Percebe-se que os valores de tensão de expansão reduziram acentualmente com a substituição de parte do solo por CCA, devido à reação pozolânica entre os materiais. E para a cal-hidratada também houve a acentuada redução da expansão do solo com a adição de cal hidratada, isso se deve à reação de cimentação pozolânica que ocorre entre o solo e a cal quando em contato com a umidade.

Ademais, para comparar os resultados dos ensaios de expansividade do solo com acréscimo de cinza de casca de arroz e cal para o solo de Paulista-PE, baseou-se nas pesquisas de Constantino (2018), para a CCA, e de Paiva (2016) para a cal. Dessa forma, considerando os ensaios de expansão “livre” e tensão de expansão, a Tabela 5 apresenta os valores obtidos por Constantino (2018) para o solo natural e para os teores de 2%, 4%, 6%, 8% e 10% de CCA e os dados de Paiva (2016) para os teores de 3%, 5% e 7% de cal.

Tabela 5 – Expansão “Livre” e Tensão de Expansão para o solo de Paulista-PE

Material		Expansão “Livre” (%)	Tensão de Expansão (kPa)
<b>Cinza de casca de arroz (CCA)</b>	Solo Natural	15,7	81,7
	Solo + 2%	11,8	53,1
	Solo + 4%	8,0	46,6
	Solo + 6%	5,3	32,7
	Solo + 8%	6,8	19,6
	Solo + 10%	3,2	9,8



2025

<b>Cal</b>	Solo Natural	12,3	280,0
	Solo + 3%	1,1	16,0
	Solo + 5%	0,2	6,0
	Solo + 7%	0,0	0,0

A adição de cinza de casca de arroz ao solo de Paulista-PE resultou em uma redução na expansão do solo, alcançando apenas 3,2% de expansão com 10% de CCA. Ainda contexto de Paulista-PE, estudos de Paiva (2016) demonstram o solo foi estabilizado em relação à expansão livre e à tensão de expansão com um teor de cal de 5%. Concluindo-se que, para as misturas com cal, a tensão de expansão do solo natural foi de 280 kPa, que caiu drasticamente com a adição de cal.

Por fim, ao analisar o comportamento do solo, é importante destacar que a redução da expansão "livre" e da tensão de expansão não é atribuída apenas à adição de CCA ou cal, mas também ao efeito da compactação do solo. Portanto, para avaliar exclusivamente o impacto dos aditivos, torna-se fundamental comparar o desempenho do solo compactado com e sem a presença dos materiais adicionados.

## 5.5 Influência do pH na Estabilização dos Solos de Agrestina-PE e Paulista-PE

A estabilização dos solos de Agrestina e Paulista com cal e cinza de casca de arroz (CCA) revelou diferenças significativas em relação à influência do pH. Em Agrestina-PE, de acordo com Silva (2018), o solo apresenta um pH natural neutro a ligeiramente alcalino, de aproximadamente 7,49, o que é característico de solos argilosos expansivos.

A adição de 13% de cal promoveu um aumento expressivo no pH, atingindo 12,42, conforme o método de Eades e Grim (1966). Esse aumento significativo favorece reações pozolânicas, que são fundamentais para a formação de compostos cimentantes, resultando na melhoria da resistência mecânica do solo.

Por outro lado, a CCA apresentou um impacto limitado no pH. Com 10% de CCA, o pH do solo variou apenas de 7,10 para 7,01, conforme Silva (2018). Essa limitação pode ser atribuída ao caráter ligeiramente alcalino da CCA (pH 7,6), que não foi suficiente para alterar a alcalinidade do solo de maneira significativa. Como resultado, a eficácia da CCA em termos de estabilização química foi inferior à da cal em Agrestina-PE.

Além disso, o solo natural de Paulista-PE, apesar de Bezerra (2020) não analisar diretamente, pode-se encontrar dados de Constantino (2018) para o mesmo lugar. Dessa forma, Paulista-PE possui um pH ácido de 5,01, refletindo sua composição mineral e condições locais. Segundo Constantino (2018), a aplicação de CCA nesse solo provocou apenas alterações moderadas no pH, variando entre 4,62 e 5,32 dependendo do teor de CCA. Apesar de seu caráter alcalino, a CCA demonstrou impacto químico limitado no solo, sugerindo que sua eficácia como estabilizante está mais relacionada a mecanismos físicos, como a redução de fissuração.

Embora os dados sobre a cal no solo de Paulista não estejam explicitamente apresentados, Bezerra (2020) indica que sua aplicação em solos de características semelhantes geralmente eleva o pH para níveis alcalinos, promovendo um ambiente mais propício às reações pozolânicas. Esse comportamento seria consistente com os resultados observados no solo de Agrestina.

## 6 CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou a eficácia do uso de cal e cinza de casca de arroz (CCA) como estabilizantes químicos para solos expansivos em duas localidades de Pernambuco: Agrestina e Paulista. Os resultados destacaram diferenças significativas no desempenho de ambos os aditivos, influenciadas pelas características intrínsecas dos solos, condições locais e viabilidade econômica e ambiental.

A análise dos resultados para os solos de Agrestina-PE e Paulista-PE revelou diferenças significativas no desempenho da cal e da cinza de casca de arroz (CCA). A cal mostrou-se altamente eficaz na estabilização química do solo de Agrestina, promovendo o aumento expressivo no pH (de 7,49 para 12,42), a redução expressiva da plasticidade e da expansão livre do solo, o que reforça sua adequação como estabilizante químico em solos argilosos e com alto potencial expansivo. No entanto, no solo de Paulista, com pH ácido (5,01), os dados disponíveis indicam que a cal apresentou eficiência limitada.

Já a CCA apresentou resultados mais equilibrados em Paulista, contribuindo principalmente para a redução de fissuras e melhoria das propriedades físicas do solo, ainda que com impacto químico limitado. Essa



diferença reflete a maior acidez natural do solo de Paulista e sua interação com a CCA. Em Agrestina, sua influência foi limitada devido ao menor aumento no pH e à redução progressiva da resistência mecânica.

Essas diferenças refletem as características intrínsecas dos solos: Agrestina, argiloso, expansivo e ligeiramente alcalino, respondeu melhor às alterações químicas promovidas pela cal, enquanto Paulista, argiloso, expansivo e mais ácido, apresentou resultados equilibrados com a CCA, se apresenta como uma alternativa sustentável.

Por fim, sugere-se que futuras pesquisas explorem combinações entre cal e CCA para maximizar a eficiência técnica e ambiental, além de ampliar os estudos para diferentes condições climáticas e períodos de cura. Tais abordagens podem fornecer soluções mais abrangentes e adaptadas às diversas demandas da engenharia geotécnica em solos expansivos.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a quem os autores agradecem pelo incentivo à pesquisa e à formação acadêmica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADHIKARY, S.; KOYEL, J. (2016). *Potentials of rice-husk ash as a soil stabilizer*. International Journal of Latest Research in Engineering and Technology (IJLRET), v. 2, n. 2, p. 40-48.
- ARAÚJO, Hitalo José Tavares (2023). *Influência do Uso de Fibras de Pneu no Comportamento Hidromecânico e na Mitigação de Propagação de Fissuras em Solo Expansivo*. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, Pernambuco.
- BEZERRA, I. M. L (2020). *Análise da interação interpartículas e do processo de fissuração de um solo expansivo tratado com areia, cal e cinza de casca de arroz*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil. 105 p. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/38374>.
- CONSTANTINO, C. S (2018). *Estabilização de um solo expansivo do município de Paulista com uso de cinzas de casca de arroz*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 97 p. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/33985>.
- EADES, J. L.; GRIM, R. E (1966). *A quick test to determine lime requirements for lime stabilization*. Highway Research, Washington, D. C., n. 139, p. 61-72.
- FERREIRA, S. R. M. et al (2012). *Estabilização de solos expansivos de Cabrobó, Paulista e Suape/PE com cal*. In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 16. Anais [...]. Porto de Galinhas: ABMS, 2012, p. 264.
- FERREIRA, S. R. M.; FERREIRA, M. G. V. X (2009). *Mudanças de volume devido à variação de teor de umidade em um vertissolo no semiárido de Pernambuco*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p. 779-791.
- LACERDA, L. S. S. N (2019). *Análise do comportamento geotécnico de solos de Cabrobó, potencialmente expansivos, estabilizados com cinza de casca de arroz*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2019. 82 p.
- PAIVA, S. C (2016). *Estudo do comportamento geomecânico dos solos expansivos dos municípios de Cabrobó, Paulista e Ipojuca-PE e de suas misturas com cal*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2016. 168 p.
- SILVA, J. A (2018). *Estudo do comportamento geotécnico de um solo potencialmente expansivo, encontrado em Agrestina/PE, aplicando cinza de casca de arroz e cal como aditivos estabilizantes*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, Pernambuco, Brasil, 2018. 137 p.
- VILAR, Orenco Monje; FERREIRA, Silvio Romero de Melo (2015). *Solos Colapsáveis e Expansivos*. Recife: UFPE.