



## **ESTABILIZANTE DE EXPANSÃO DE SOLO A PARTIR DA MISTURA CAL E CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Milena Gabriella de Freitas Silva<sup>1</sup>, Carina Silvani<sup>2</sup>

### **RESUMO**

Solos expansivos são aqueles que apresentam variação de volume mediante a alteração da umidade. No Brasil, os estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte, Alagoas e Bahia apresentam extensas áreas com solos expansíveis, responsáveis por causar problemas em rodovia, canais e edifícios. Com o intuito de minimizar os efeitos causados por esse tipo de solo, materiais como a cal e a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) são apresentados como alternativa para estabilização química do solo e melhoria das propriedades mecânicas. Diante disso, o objetivo do trabalho é desenvolver um estabilizante de expansão de solo a base de cal e cinza do bagaço de cana-de-açúcar. O solo expansivo do projeto foi feito no laboratório com 75% de areia e 25% de bentonita e foi estabilizado com os teores de cal 0%, 3% e 6% e de CBCA 0%, 6,25% e 12,5%, com peso específico 14,75kN/m<sup>3</sup> e umidade 19,5%. Os resultados mostraram que o solo com a cal (3% e 6%) não expande, apresentando adensamento. A CBCA é eficaz na redução da expansibilidade do solo; observou-se redução da expansibilidade de 79,21% e 98,48% com os teores de 6,25% e 12,5%, respectivamente. A cal e a CBCA agindo simultaneamente também reduzem a expansibilidade do solo; destaca-se que com os teores de cal 6% e de CBCA 12,5%, a expansão tende a zero. Logo, um estabilizante de solo expansivo composto por cal e cinza do bagaço de cana-de-açúcar é viável.

**Palavras-chave:** Cinza do Bagaço de Cana-de-Açúcar, Expansibilidade de solo, Estabilizante de solo.

---

<sup>1</sup>Aluna do curso de engenharia civil, Departamento de Engenharia Civil, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: milenagfs9@gmail.com

<sup>2</sup>Doutora, Professora, Departamento de Engenharia Civil, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: carinasilvani@gmail.com

## **ESTABILIZANTE DE EXPANSÃO DE SOLO A PARTIR DA MISTURA CAL E CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

### **ABSTRACT**

Expansive soils are those that show volume variation due to changes in humidity. In Brazil, the states of Pernambuco, Rio Grande do Norte, Alagoas and Bahia have extensive areas with expandable soils, responsible for causing problems in highways, canals and buildings. In order to minimize the effects caused by this type of soil, materials such as lime and sugarcane bagasse ash (SBA) are presented as an alternative for soil chemical stabilization and improvement of mechanical properties. Therefore, the objective of this work is to develop a soil expansion stabilizer based on lime and sugarcane bagasse ash. The expansive soil of the project was made in the laboratory with 75% sand and 25% bentonite and was stabilized with 0%, 3% and 6% lime and 0%, 6.25% and 12.5% SBA, with specific weight  $14.75\text{kN/m}^3$  and humidity 19.5%. The results showed that the soil with lime (3% and 6%) was densified. SBA is effective in reducing soil expandability; there was a reduction in expandability of 79.21% and 98.48% with the contents of 6.25% and 12.5%, respectively. Lime and SBA acting simultaneously also reduce soil expandability; it should be noted that with the lime content being 6% and the SBA content being 12.5%, the expansion tends to zero. Therefore, an expansive soil stabilizer composed of lime and sugarcane bagasse ash is feasible.

**Keywords:** Sugarcane Bagasse Ash, Soil expandability, Soil stabilizer.

## INTRODUÇÃO

O cultivo de cana-de-açúcar e produção de seus derivados no Brasil, foi iniciado durante o período colonial e continua até os dias atuais. Entretanto, segundo Paula et al. (2009) a indústria sucroalcooleira gera uma grande quantidade de resíduos. O resíduo da produção do caldo da cana-de-açúcar é o bagaço (aproximadamente 30% da massa de cana-de-açúcar moída). Contudo, 95% de todo o bagaço produzido no Brasil é queimado nas caldeiras das próprias indústrias para geração de energia, devido a seu potencial calorífero. Este processo tem como resíduo a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA), cuja disposição nem sempre é adequada. Destaca-se que segundo Cacuro e Waldman (2015), a indústria sucroalcooleira brasileira gera em torno de 170 milhões de toneladas de CBCA por ano.

A CBCA foi estudada por Bahurudeen e Santathanan (2015); Kazmi et al., 2018; Ramirez et al., 2012; Khan et al. 2015; Joshaghani e Moeini 2017; Zarrei et al. 2018 para uso em concretos devido a seu alto conteúdo de sílica amorfa e conseqüentemente potencial pozolânico. Materiais pozolânico são capazes de reagir com cal e formar compostos cimentantes. Esse resíduo é disponível no Brasil, com destaque para as regiões nordeste (CORDEIRO et al. 2008; BRINKMAN et al., 2018) e muitas vezes sua disposição final não é adequada.

O Nordeste do Brasil apresenta extensas áreas de solos expansíveis distribuídas nos estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte, Alagoas e Bahia. (SANTOS, 2008; FERREIRA, 2008). Solos expansivos são aqueles que apresentam variação de volume mediante alteração da umidade. O comportamento expansivo desses solos é responsável por causar diversos problemas em rodovias, canais e edifícios (CAMAPUM et al., 2015; KULANTHAIVEL et al., 2020; SILVANI et al., 2020).

A solução clássica para solos expansivos é a estabilização química com cal. Esta altera quimicamente o solo, controlando a sua expansão pela floculação, pelas trocas catiônica e cimentação das partículas através das reações pozolânicas. As reações pozolânicas conduzem também ao aumento da resistência mecânica dos solos (VILLALBA, 2015).

Considerando que o a região Nordeste do Brasil apresenta problemas com solos expansivos e com descarte de CBCA esta pesquisa visa desenvolver um

estabilizante de expansão de solo composto de CBCA e cal, capaz de minimizar estes problemas.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Materiais**

Os materiais que utilizados nesta pesquisa são solo expansível (composto por 75% de areia quartzo passada na peneira de 4,8 mm e 25% de bentonita sódica), cal hidratada e cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBCA). A CBCA foi obtida em uma indústria sucroalcooleira, na Fazenda Floresta, BR 230, KM 134, zona rural, Campina Grande-PB, que utiliza a queima do bagaço de cana-de-açúcar como combustível em suas caldeiras.

### **Metodologia**

#### **Caracterização do solo expansivo e da cinza do bagaço da cana-de-açúcar**

A caracterização do solo expansível e da CBCA utilizados nesta pesquisa foi realizada através dos ensaios apresentados na Tabela 1. Devido as indicações de Bahuruden e Santhanan (2015), a CBCA foi peneirada na #0,15 mm, visando a obtenção de um material de menor diâmetro e maior superfície específica, e recalcinada à temperatura de 700°C, pois segundo Cordeiro et al. (2018) este procedimento otimiza o potencial pozolânico da CBCA.

Tabela 1: Ensaio de caracterização do solo expansivo e da cinza do bagaço de cana-de-açúcar.

Ensaio	Solo Expansivo	CBCA #0,15 mm 700 °C	Norma
Análise granulométrica	X	X	ABNT NBR 7181
Limites de Atterberg	X	X	ABNT NBR 6459 ABNT NBR 7180
Fluorescência de Raios X	X	X	ABNT NBR 16137
Difração de Raios X		X	-
Adsorção de Azul de Metileno	X	X	ASTM C837
Massa específica dos grãos do solo	X	X	ASTM D854/2014
Atividade pozolânica		X	ABNT NBR 12653

Fonte: autoria própria.

### Planejamento experimental

A Tabela 2 apresenta as variáveis controláveis do programa experimental. Os teores de CBCA foram escolhidos com base em teores de cinza volante (composto com características e origens próximas a CBCA) estudados por Consoli et al., (2019). Os teores de cal foram fixados com base no ensaio de consumo inicial de cal (ICL). Este ensaio consiste em adicionar cal ao solo até obter-se um pH constante. O teor de cal no qual o pH estabiliza é entendido como o teor mínimo de cal para se estabilizar o solo (SAMANIEGO, 2015).

Tabela 2: Variáveis controláveis.

Variáveis	Unidade	Níveis
Teor de CBCA	%	0; 6,25; 12,50
Teor de Cal	%	0; 3; 6

Fonte: autoria própria.

A Tabela 3 apresenta as variáveis fixas neste estudo. O agente cimentante utilizado será cal hidratada, pois esta é capaz de promover reações pozolânicas com a adição de CBCA. O tempo de cura foi estabelecido visando a obtenção de um

estabilizante com atuação rápida. A umidade e o peso específico seco foram definidos com base na curva de compactação para o ensaio de Proctor Normal.

Tabela 3: Variáveis fixadas.

Variáveis	Unidade	Níveis
Tipo de material cimentante	-	Cal hidratada
Tipo de solo	-	Argila expansiva
Tempo de cura	dias	0
Umidade	%	19,50
Peso específico seco aparente	kN/m <sup>3</sup>	14,75

Fonte: autoria própria.

A Tabela 4 apresenta as variáveis de ruído e medidas mitigadoras empregadas. As variáveis de ruído não são controláveis. Visando minimizar os efeitos destas foram aplicadas medidas mitigadoras.

Tabela 4: Variáveis de ruído.

Variável	Medida de Controle
Equipamento e operador	Utilização de único equipamento com único operador
Homogeneidade do resíduo	Uso de amostra única, colhida de uma única vez
Homogeneidade do solo	Uso de amostra única, colhida de uma única vez

Fonte: autoria própria.

A variável reposta dos experimentos foi a expansão unidirecional, segundo o Método A da ASTM D4546(1996), visando a avaliação da possibilidade de uso da mistura CBCA e cal como estabilizante de solo expansivo.

### **Modelagem e cura dos corpos de prova**

Os corpos de prova foram moldados com 50 mm de diâmetro e 20 mm de altura. Estes foram moldados com a mistura dos materiais secos (cal, solo e CBCA), adição água e posterior compactação estática em uma camada. Após a moldagem os corpos de prova foram transferidos diretamente para o equipamento edométrico para a realização do ensaio de expansão. Antes da moldagem, os corpos de prova foram pesados para conferir o peso específico seco e retirou-se amostras para conferir a umidade.

### **Ensaio de expansão unidirecional**

O ensaio de expansão em uma dimensão seguiu o método A apresentado na ASTM D4546(1996) adotando-se uma sobrecarga de 10 kPa. Este valor para sobrecarga foi escolhido por ser preconizado por Vijayvergiya e Ghazzaly (1973) e amplamente utilizado por pesquisadores Brasileiros (FERREIRA; FERREIRA, 2009; FERREIRA et al., 2017; SILVANI et al., 2020). Os ensaios foram realizados em equipamento edométrico, mesmo equipamento usado nos ensaios de adensamento.

O ensaio é realizado através do acoplamento do corpo de prova a célula de adensamento, aplicação da carga de 10kPa, inundação da célula de adensamento e leitura da altura do corpo de prova nos tempos, após inundação, de 0,5; 1; 2; 4; 8; 15; 30, 60, 120, 240, 480 e 1.440 minutos conforme preconizados pela ASTM D4546 (1996).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Propriedades do solo expansivo

Os resultados apresentados na Tabela 5 mostram a caracterização física do solo. Este apresenta alto índice de plasticidade, fator comum em solos finos e expansivos.

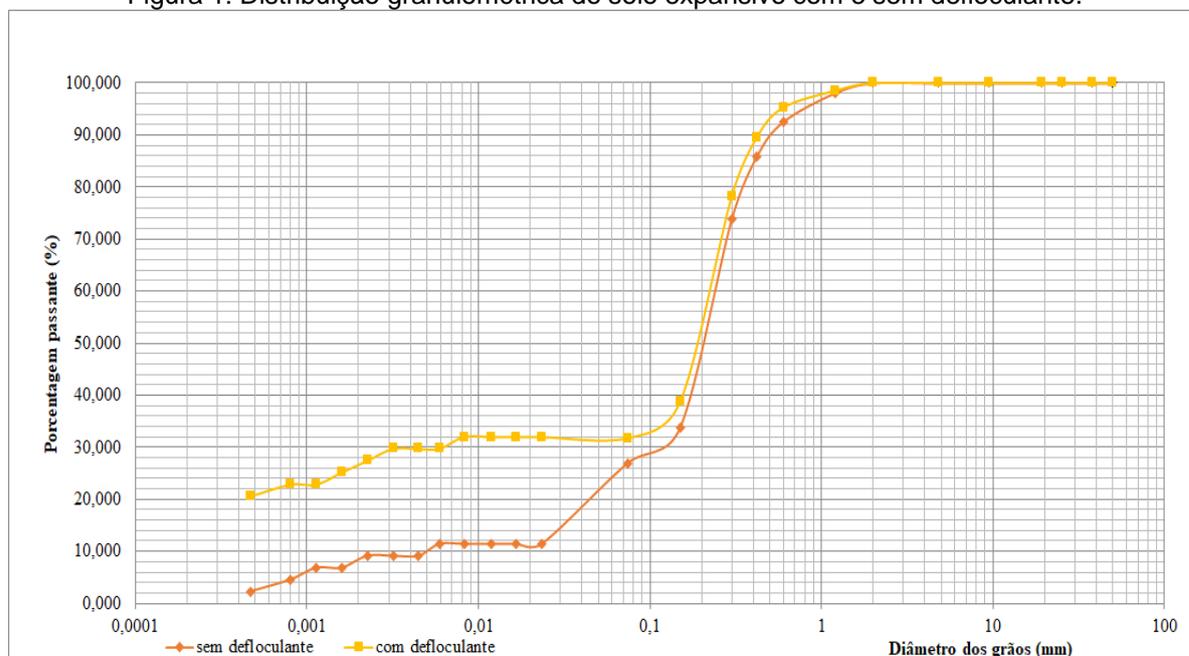
Tabela 5: Características físicas do solo expansivo

<b>Características</b>	<b>Solo expansivo</b>
Limite de liquidez	65,00%
Limite de plasticidade	27,20%
Índice de plasticidade	37,80%
Peso específico das partículas (kN/m <sup>3</sup> )	26,50
Capacidade de Troca Catiônica (meq/100g) - antes da expansão	131,29
Superfície Específica (m <sup>2</sup> /g) - antes da expansão	1024,64
Capacidade de Troca Catiônica (meq/100g) - após a expansão	65,65
Superfície Específica (m <sup>2</sup> /g) - após a expansão	512,32

Fonte: autoria própria.

A Figura 1 mostra a distribuição granulométrica do solo com e sem defloculante. O solo se classifica como uma argila de alta compressibilidade (CH), com base na SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos).

Figura 1: Distribuição granulométrica do solo expansivo com e sem defloculante.



Fonte: autoria própria.

### Composição química do solo

A Tabela 6 apresenta o resultado da fluorescência dos raios-X (FRX) do solo. A partir desta, foi identificado que o dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) e o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) juntos correspondem a 90,54% dos elementos constituintes do solo, portanto o solo tem potencial para reagir com a cal e desenvolver reações pozolânicas. O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 16137/2016, com atmosfera a vácuo e cátodos de cobre.

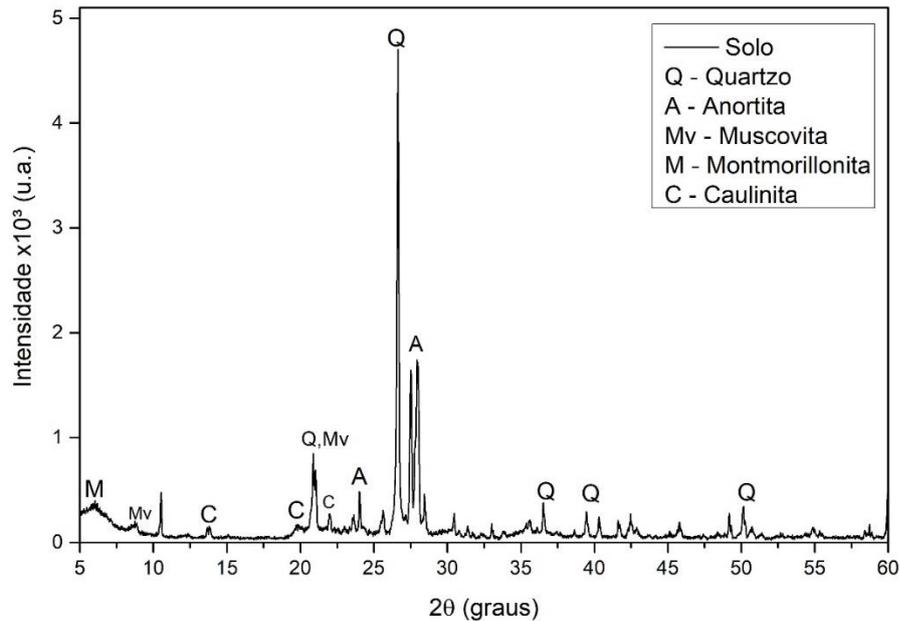
Tabela 6: Fluorescência dos raios-X do solo puro

<b>Elemento</b>	<b>Fração (%)</b>	<b>Elemento</b>	<b>Fração (%)</b>
$\text{SiO}_2$	70,08	CaO	1,48
$\text{Al}_2\text{O}_3$	20,46	$\text{TiO}_2$	0,6
MgO	2,74	$\text{SO}_3$	0,14
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,67	Outros	0,13
$\text{K}_2\text{O}$	1,7	-	-

Fonte: autoria própria.

A Figura 2 apresenta o resultado da difração de raios-X (DRX) do solo. A partir desta, pode-se observar picos de quartzo, proveniente da areia, e de montmorilonita (argilomineral expansivo), proveniente da bentonita. A DRX do solo foi executada com amplitude de 5° a 60° com velocidade de varredura de 2° por minuto em equipamento com cátodo de cobre, diferença potencial de 40 kV e corrente de 30 mA.

Figura 2: Difração de Raios-X do solo expansivo



### Propriedade da Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar

A ausência de resultados para os limites de consistência, apresentados na Tabela 7, indica que os ensaios não puderam ser realizados, portanto, a CBCA foi classificada como não plástica, além de possuir baixo peso específico das partículas, fatos comuns em cinza como as estudadas por Consoli et al 2014 e Consoli et al 2019.

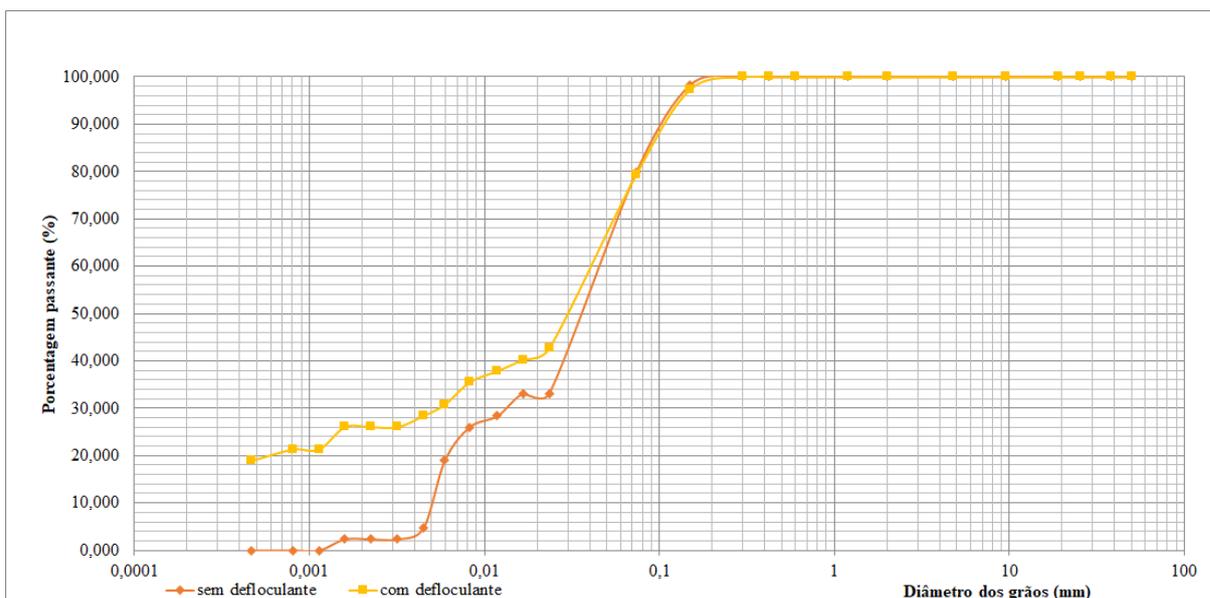
Tabela 7: Características físicas da CBCA

<b>Características</b>	<b>CBCA #0,15 mm 700°C</b>
Limite de liquidez	-
Limite de plasticidade	-
Índice de plasticidade	Não plástica
Peso específico das partículas (kN/m <sup>3</sup> )	25,01
Capacidade de Troca Catiônica (meq/100g) - teor de CBCA 6,25%	59,39
Superfície Específica (m <sup>2</sup> /g) – teor de CBCA 6,25%	463,53
Capacidade de Troca Catiônica (meq/100g) - teor de CBCA 12,50%	43,76
Superfície Específica (m <sup>2</sup> /g) – teor de CBCA 12,50%	341,55

Fonte: autoria própria.

A Figura 9 mostra a análise granulométrica para a CBCA passante na #0,15mm e recalcinada a 700°C, com e sem defloculante. A cinza se classifica como um silte de baixa compressibilidade (ML).

Figura 9: Distribuição granulométrica da CBCA passada na #0,15mm e recalcinada a 700°C com e sem defloculante



Fonte: autoria própria.

### Composição química da Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar

A Tabela 8 apresenta o resultado da FRX para a CBCA. A técnica e materiais foram os mesmos utilizados para o solo. Os elementos com maiores frações são o óxido de Silício ( $\text{SiO}_2$ ) e o óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ). A quantidade considerável de sílica sugere que o material pode apresentar propriedades pozolânicas e a elevada presença de magnésio ajuda a cal a conter a expansão do solo. O alto teor de  $\text{CaO}$  na cinza é devido provavelmente ao processo de adição de calcário realizado na cana-de-açúcar durante seu plantio.

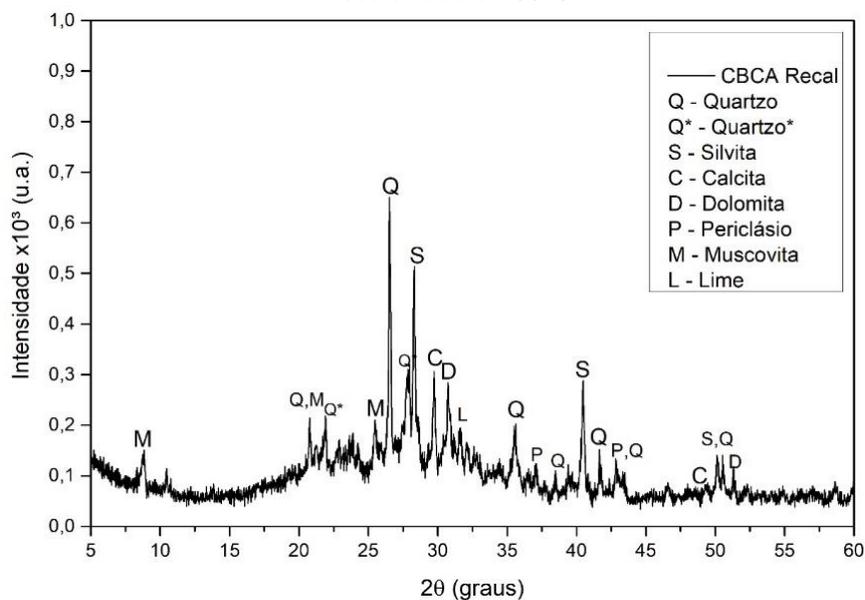
Tabela 8: Fluorescência de Raios-X (FRX) da cinza do bagaço da cana-de-açúcar peneirada na #0,15mm e recalcinada a 700°C

Elemento	Fração (%)	Elemento	Fração (%)
$\text{SiO}_2$	47,53	$\text{SO}_3$	2,68
$\text{MgO}$	16,12	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,46
$\text{K}_2\text{O}$	8,81	$\text{Cl}$	1,98
$\text{Al}_2\text{O}_3$	7,75	$\text{TiO}_2$	0,34
$\text{CaO}$	6,89	$\text{MnO}$	0,18
$\text{P}_2\text{O}_5$	5,08	Outros	0,18

Fonte: autoria própria.

A Figura 10 apresenta o DRX da cinza do bagaço da cana-de-açúcar. A técnica e materiais foram os mesmos utilizados para o solo. Esse material é amorfo, capaz de reagir com a cal e desenvolver reações pozolânicas. Os picos de quartzo, silvita, calcita, dolomita e periclásio condizem com os resultados encontrados na FRX pois são compostos por  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$  respectivamente.

Figura 10: Difração dos Raios-X da cinza do bagaço da cana-de-açúcar peneirada na #0,15 mm e recalcinada a 700°C

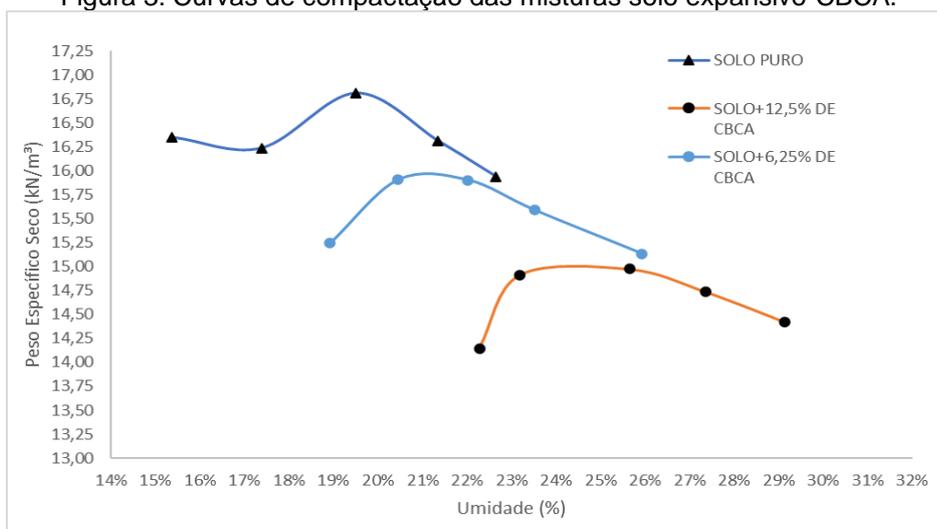


Fonte: autoria própria.

### Características da mistura solo expansivo-CBCA

A Figura 3 apresenta a curva de compactação do solo obtida por meio do ensaio de Proctor Normal. O solo puro apresenta peso específico aparente seco de 16,75 kN/m<sup>3</sup> e umidade ótima de 19,5%. O solo+6,25%CBCA apresenta peso específico máximo de 16,00 kN/m<sup>3</sup> e umidade ótima de, aproximadamente, 21%. O solo+12,5%CBCA apresenta peso específico máximo de 15,00 kN/m<sup>3</sup> e umidade ótima de, aproximadamente, 24%. O ensaio foi realizado com energia normal de compactação, reuso de material e cilindro pequeno. Dang, Khabbaz e Ni (2021) atribuem essas alterações a floculação do solo, originada pela troca catiônica e pelo menor peso específico da partícula dos grãos de CBCA em relação ao solo.

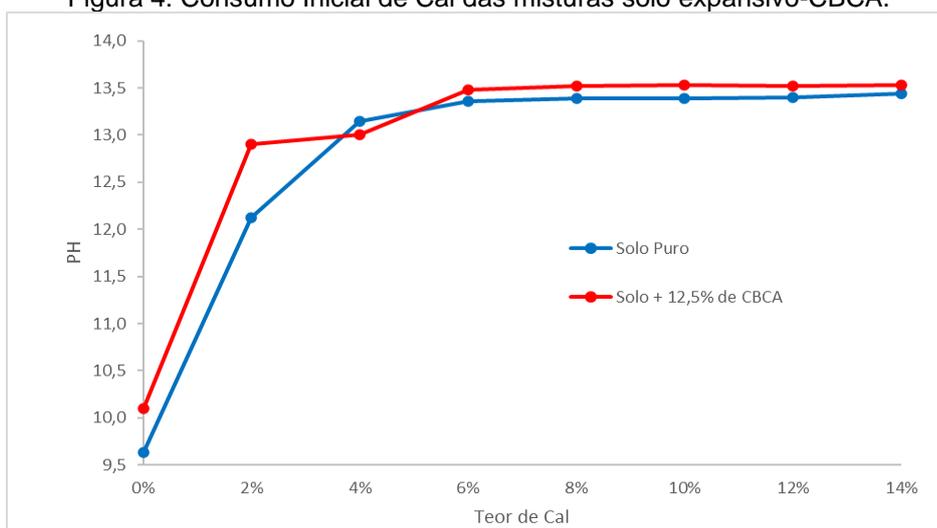
Figura 3: Curvas de compactação das misturas solo expansivo-CBCA.



Fonte: autoria própria.

A Figura 4 apresenta os resultados dos ensaios de ICL para solo puro e o solo com adição de 12,5% de CBCA, teores mínimo e máximo de CBCA utilizados nos ensaios. Observa-se que a adição de CBCA não alterou o consideravelmente o pH do solo. Em ambos os materiais adições até 2% de cal acarretam aumento do pH, entre as adições de 2% e 4% ocorre a fase de transição e a partir de 6% o pH é mantido constante, com um valor entre 13,4 e 13,5 para ambas as misturas, portanto, o ICL é 6% em todos os casos.

Figura 4: Consumo Inicial de Cal das misturas solo expansivo-CBCA.

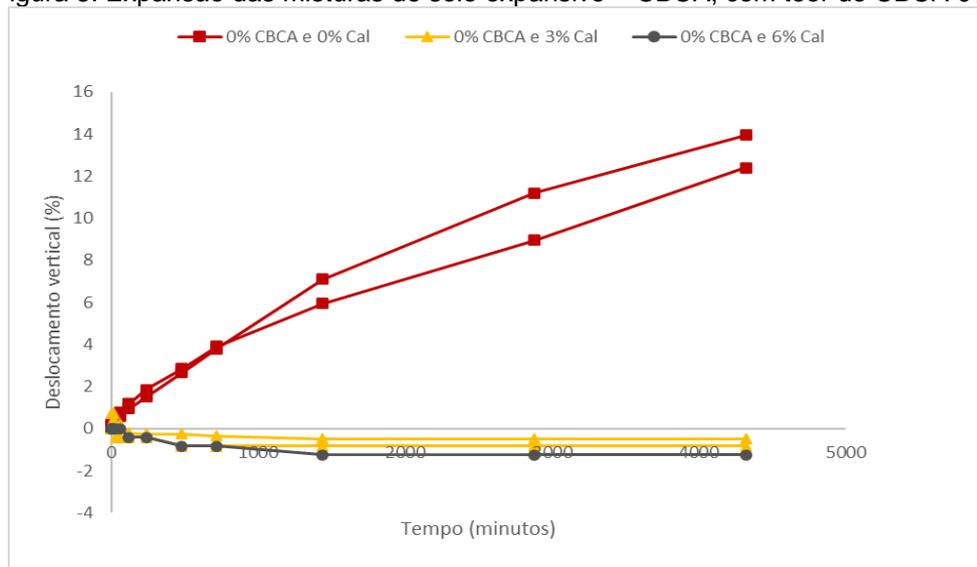


Fonte: autoria própria.

### Efeito do Teor de cal na expansão do solo

A Figura 5 apresenta a expansão do solo estabilizado com teores de 0%, 3% e 6% de cal e 0% de CBCA.

Figura 5: Expansão das misturas de solo expansivo – CBCA, com teor de CBCA 0%.

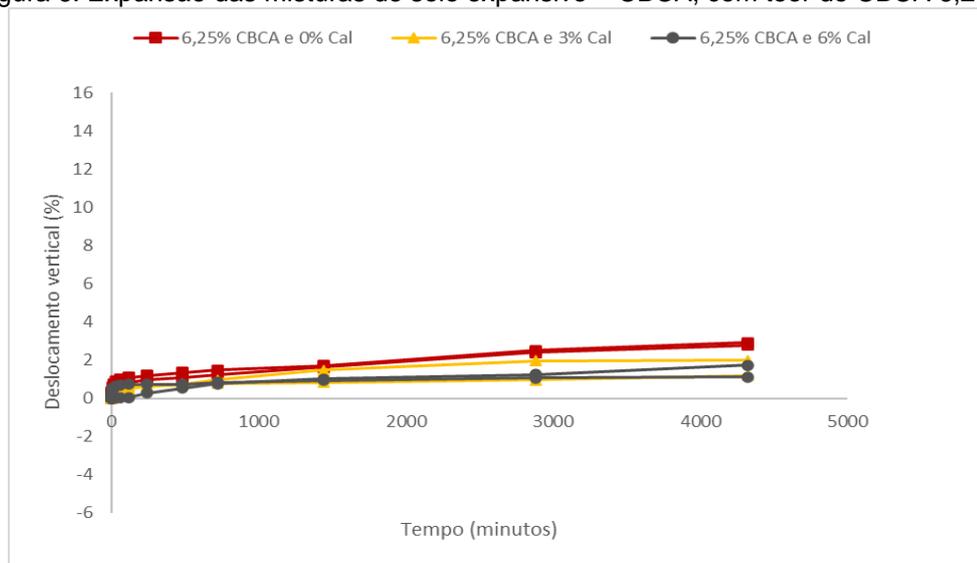


Fonte: autoria própria.

Segundo Silvani et al., (2019) ao adicionar a cal ao solo a expansão do mesmo é controlada devido a troca catiônica e floculação do solo. A amostra sem adição com cal apresentou cerca de 13% de expansão, quando adições de cal foram feitas (3 e 6%) o solo não apresentou expansão, mas um adensamento (redução de volume vertical).

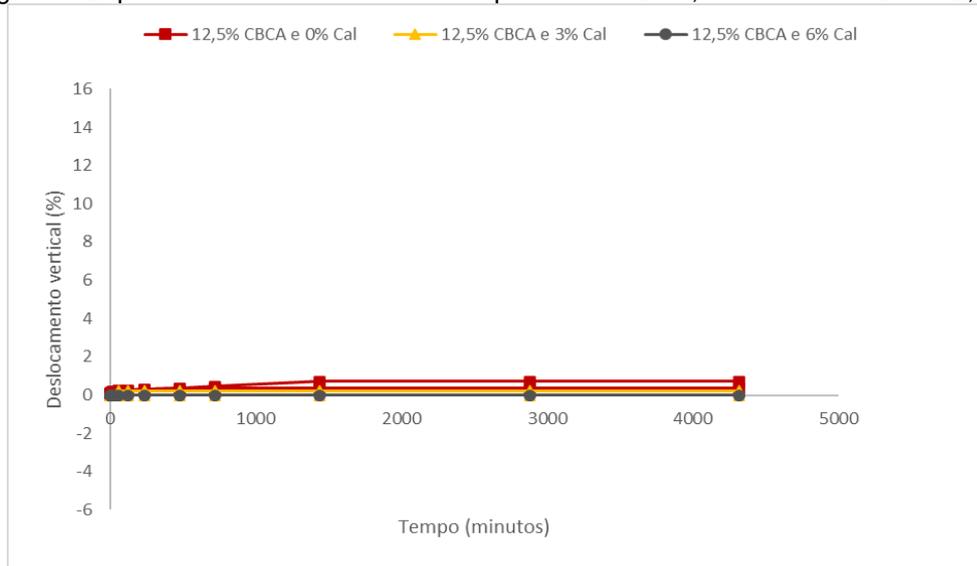
A Figura 6 apresenta a expansão do solo tratado com teores de 0%, 3% e 6% de cal e 6,25% de CBCA, e a Figura 7 apresenta a expansão do solo com os teores de 0%, 3% e 6% de cal e 12,5% de CBCA.

Figura 6: Expansão das misturas de solo expansivo – CBCA, com teor de CBCA 6,25%.



Fonte: autoria própria.

Figura 7: Expansão das misturas de solo expansivo – CBCA, com teor de CBCA 12,5%.



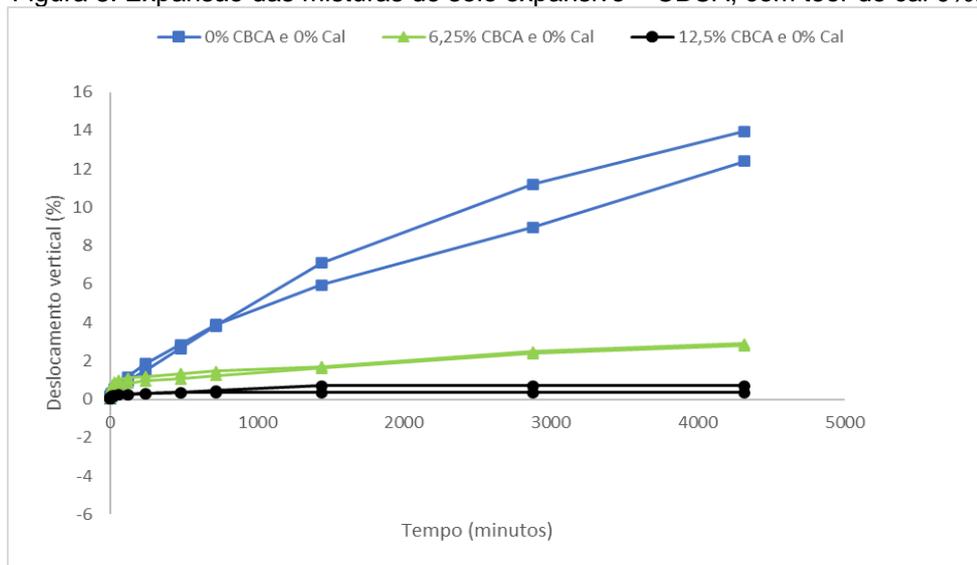
Fonte: autoria própria.

Observa-se nas Figuras 7 e 8 que, à medida que a CBCA e a mistura CBCA+cal é adicionada o solo, a expansão deste diminui. Quanto maior a porcentagem de CBCA e CBCA+cal adicionada, menor é a expansão do solo.

### Efeito do Teor de CBCA na expansão do solo

A Figura 8 apresenta a expansão do solo com os teores de 0%, 6,25% e 12,5% de CBCA e 0% de cal.

Figura 8: Expansão das misturas de solo expansivo – CBCA, com teor de cal 0%.

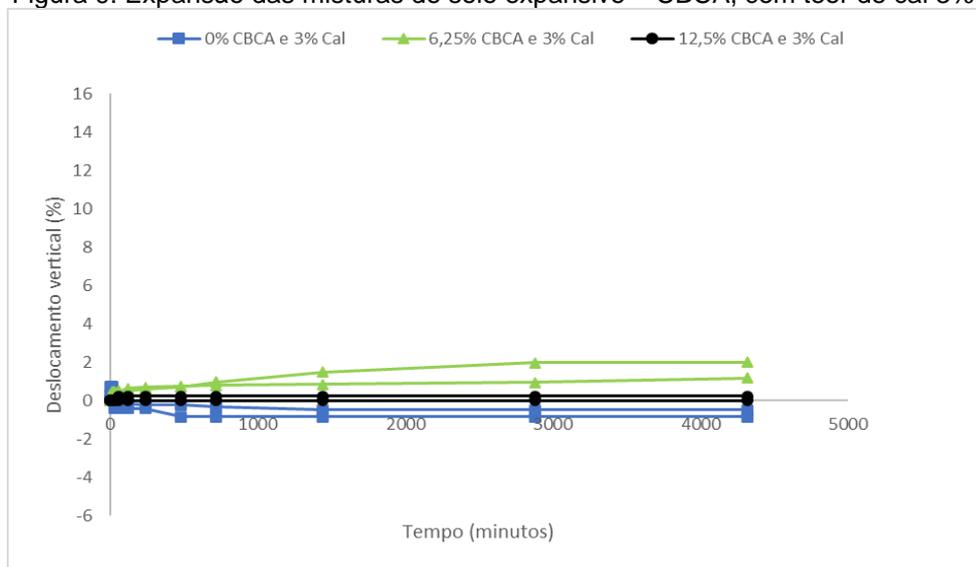


Fonte: autoria própria.

Nota-se que à medida que a CBCA é adicionada ao solo, a expansão do mesmo tende a diminuir. O solo com 0% de cinza não tem sua expansão estabilizada no tempo de 72 horas, provavelmente expandiria ainda mais se fosse ensaiado por mais tempo. Ao adicionar 6,25% de CBCA ao solo, a expansão é cerca de três vezes menor que a expansão do solo sem CBCA. Com 12,5% de CBCA a expansão tende a zero.

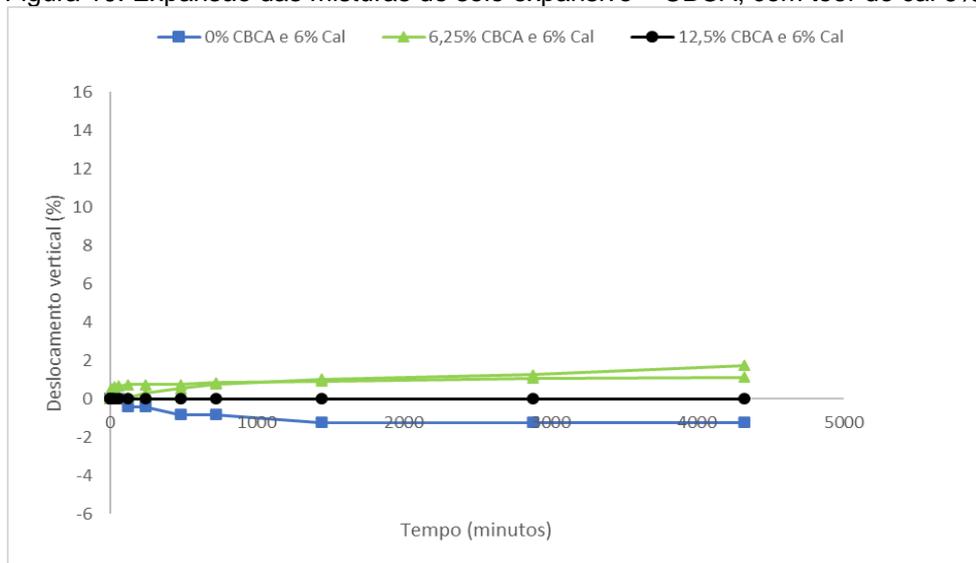
A Figura 9 apresenta a expansão do solo com os teores de 0%, 6,25% e 12,5% de CBCA e 3% de cal, e a Figura 10 apresenta a expansão do solo com os teores de 0%, 6,25% e 12,5% de CBCA e 6% de cal.

Figura 9: Expansão das misturas de solo expansivo – CBCA, com teor de cal 3%.



Fonte: autoria própria.

Figura 10: Expansão das misturas de solo expansivo – CBCA, com teor de cal 6%.



Fonte: autoria própria.

Assim como visto nos ensaios em que o teor de cal foi de 0%, nota-se que a medida que a CBCA é adicionada ao solo, a expansão do mesmo tende a diminuir. Quanto maior o teor de CBCA, menor a expansão. Entretanto, as misturas com o teor de cinza 0% e teor de cal 3%, e teor de cinza 0% e teor de cal 6%, apresentaram resultados diferentes do esperado, deixando a entender que, ao reagir apenas com estes teores de cal, o solo adensa. Pesquisas futuras são necessárias para entender este comportamento.

## **CONCLUSÃO**

A análise dos resultados permite observar que a adição de cal diminui a expansão de solo estabilizado com CBCA. A estabilização de solo com a cal acontece em duas fases, sendo a floculação a primeira e reações pozolânicas a segunda, as quais podem conter a expansão do solo. Entretanto, neste trabalho foi visto que o solo com as adições de cal (3% e 6%) não apresentou expansão, mas um adensamento.

O teor de cinza do bagaço de cana-de-açúcar influencia efetivamente na eficiência do estabilizante de expansão de solo composto de cal e cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Com o teor de CBCA 6,25% nota-se que a expansão do solo tem uma diminuição considerável (79,21%), e com teor de CBCA 12,5% é possível observar que a expansão tende a zero (a expansão diminui cerca de 98,48%). A provável justificativa para este comportamento é a constituição da CBCA, rica em Óxidos de Magnésio e Cálcio que permitem a troca catiônica e floculação do solo.

O uso de um estabilizante de solo expansivo composto por cal e cinza do bagaço de cana-de-açúcar é viável, tendo em vista que apenas a cinza já controla a expansão do solo, e quando combinada com a cal, a tendência é que a expansão é ainda menor. Os resultados mostram que o teor de 12,5% de CBCA combinado com o teor de 6% de cal controlam a expansão deixando-a entorno de zero. Entretanto, por a CBCA já ter uma boa eficiência no controle da expansão, é possível utilizar apenas a mesma como estabilizante.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, pelo apoio nas minhas decisões, incentivo e por viabilizar meus estudos. À professora orientadora Carina Silvani, pela oportunidade, atenção e disponibilidade a contribuir na minha capacitação. A Universidade Federal de

Campina Grande e ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, pelo apoio ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – PIBITI.

## REFERÊNCIAS

ASTM D4546-96. ASTM D4546-96- **Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive**. Astm International, p. 1–7, 1996.

BAHURUDEEN, A.; SANTHANAM, M. **Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete**. Cement and Concrete Composites, v. 59, p. 77–88, 2015.

BRINKMAN, M. L. J. et al. **Interregional assessment of socio-economic effects of sugarcane ethanol production in Brazil**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 88, n. December 2016, p. 347–362, 2018.

CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R. **Cinzas da queima de biomassa: aplicações e potencialidades**. Revista Virtual de Química, Sorocaba-SP, v.7, n.6, p. 2154-2165, 2015.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; GITIRANA JR, G. (Org.) ; MACHADO, S. L. (Org.); MASCARENHA, M. M. A. (Org.) ; SILVA FILHO, F. C. (Org.) . **Solos não saturados no contexto geotécnico**. 1. ed. São Paulo: ABMS, 2015. v. 1. 804p.

CONSOLI, N. C.; MARIN, E.J.B.; SAMANIEGO, R. A. Q.; HEINECK, K. S.; JOHANN, A.D.R.; **Use of Sustainable Binders in Soil Stabilization**. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 31(2), p. 06018023(1)-06018023(7), 2019.

CONSOLI, NILO CESAR; DA ROCHA, CECÍLIA GRAVINA; SILVANI, CARINA. **Devising dosages for soil-fly ash-lime blends based on tensile strength controlling equations**. Construction & Building Materials, v. 55, p. 238-245, 2014.

CORDEIRO, G.C.; BARROSO, T.R.; TOLEDO FILHO, R.D. E KS **Enhancement the Properties of Sugar Cane Bagasse Ash with High Carbon Content by Controlled Re-calcination Process**. CE Journal of Civil Engineering , v. 22, p. 1250–1257 .2018

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R.; TAVARES, L. M. M. **Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars**. Cement & Concrete Composites, v.30, p.410-418, 2008.

DANG, L. C.; KHABBAZ, H.; NI, B. J. Improving engineering characteristics of expansive soils using industry waste as a sustainable application for reuse of bagasse ash. **Transportation Geotechnics**, [S.L.], v. 31, p. 100637, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100637>.

FERREIRA, S. R. M.; FERREIRA, M. da G. de V. X. **Mudanças de volume devido à variação do teor de água em um vertissolo no semiárido de Pernambuco.** Revista Brasileira de Ciencia do Solo, v. 33, n. 4, p. 779–791, 2009.

FERREIRA, S. R. M.; PAIVA, S. C.; MORAIS, J. J. O.; VIANA, R. B.; **Avaliação da expansão de um solo do município de Paulista-PE melhorado com cal.** Revista Matéria, 2017.

FERREIRA, S.R.M., **Solos colapsíveis e expansivos: uma visão panorâmica no Brasil,** In: Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, n.7, v.2, pp. 593- 619, Salvador, 2008.

JOSHAGHANI, A.; MOEINI A. M.; **Evaluating the effects of sugar cane bagasse ash (SCBA) and nanosilica on the mechanical and durability properties of mortar.** Construction and Building Materials v.152, p. 818-831,2017.

KAZMI, S. M. S. et al. **Thermal performance enhancement of eco-friendly bricks incorporating agro-wastes.** Energy and Buildings, v. 172, p. 1867–1880, 2018.

KHAN, S.; HAROON, M.; KAMAL, M.; **Potential of cement-treated sugar cane bagasse ash (SCBA) as highway construction material.** Road Trans. Res., 24 (3) (2015), p. 35

KULANTHAIVEL, P.; SOUNDARA, B.; VELMURUGAN, S.; NAVEENRAJ, V. **Experimental investigation on stabilization of clay soil using nano-material and white cement.** Materials Today: proceedings, 2020.

PAULA, M. O.; TINÔCO, I.F.F; RODRIGUES, C.S.; SILVA, E.N.; SOUSA, C.F.; **Potencial da Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar como Material de Substituição Parcial do Cimento Portland.** Resvista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.13, n.3, p.353-357,2009.

RAMÍREZ, R. A. et al. **The use of sugarcane bagasse ash and lime to improve the durability and mechanical properties of compacted soil blocks.** Construction and Building Materials, v. 34, p. 296–305, 2012.

SAMANIEGO, R. Al. Q. **Estabilização de um solo dispersivo com adição de cal. 2015.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

SANTOS, M.G.; **Estudo do Comportamento Histórico de uma Argila Expansiva Não Saturada. 2008.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SILVANI, C.; LUCENA, L. C. F. L. ; TENORIO, E. A. G. ; SCHEUERMANN FILHO,H.C ; CONSOLI, N. C. **Key Parameter for Swelling Control of Compacted Expansive Fine-Grained Soil-Lime Blends.** JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING, v. 146, p. 06020012, 2020.

VIJAYVERGIYA, V. .; GHAZZALY, O. **Prediction of Swelling Potencial for Natural Clays**. 3rd International Conference on Expansive Soils, v. v, p. 227–236, 1973.

VILLALBA, K. N. M. **Durabilidade, Rigidez e Avaliação do Ciclo de Vida de um Solo**, Dissertação de M.Sc., PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2015.

ZARREI, S. A.; BAHRAMI, F. Q. N.; **Microstructure, strength, and durability of eco-friendly concretes containing sugarcane bagasse ash**. Construction and Building Materials. v. 184, p. 258-268, 2018.