

**Estabilização química de solo de textura franco: adição de cal e cimento**  
**Chemical stabilization of franco texture soil: addition of lime and cement**  
**Estabilización química del suelo de textura franco: adición de cal y cemento**

**Pedro Emílio Amador Salomão**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9451-3111>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: [pedroemilioamador@yahoo.com.br](mailto:pedroemilioamador@yahoo.com.br)

**Breno Alcântara Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9237-280X>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: [brenosilvaecv@gmail.com](mailto:brenosilvaecv@gmail.com)

**Flávio Alchaar Barbosa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8478-5105>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: [flavio.alchaar@ufvjm.edu.br](mailto:flavio.alchaar@ufvjm.edu.br)

Recebido: 28/02/2019 | Revisado: 01/03/2019 | Aceito: 08/03/2019 | Publicado: 08/03/2019

## **Resumo**

Diante do atual cenário onde a preocupação ambiental tornou-se protagonista, a estabilização de solo com adição de cal e cimento surgiu como uma forma alternativa, sustentável e viável de aplicação na construção civil. Desta forma, este trabalho tem como objetivo o estudo da estabilidade química do solo, adicionando cimento e cal, em um solo de textura média com 25% de argila, a fim de melhorá-lo mecanicamente para favorecer sua aplicação em tijolos solo-cal-cimento, os tijolos ecológicos. Para proceder, foram realizados ensaios variando a percentagem de cimento e a cal em quantidades de 0 a 13% em relação a massa de solo. Os procedimentos do trabalho competem à preparação do solo, análise de variação volumétrica através de ensaio físico-químico, modelagem e rompimento dos corpos de prova. Na variação volumétrica, as amostras de 3% de cal apresentaram comportamento regular sobre a curva de tendência de acordo com a variação percentual de cimento. Dos ensaios mecânicos, os lotes com 3% de cal para 7% e 9% de cimento, foram os únicos que apresentaram resistência mecânica média superior ao mínimo estabelecido pela NBR 8491. Ao final dos experimentos pode ser verificado que a variação 3% de cal para 7% de cimento sobre massa de solo, se

mostrou com resultados satisfatórios para fabricação do tijolo solo-cal-cimento por ter apresentado resistência superior a mínima normatizada e por ser mais viável economicamente, em termos de preços de mercado da cal e do cimento, do que com 9% de cimento.

**Palavras-chave:** Estabilização química de solo. Tijolos ecológicos. Tijolo solo-cal-cimento. Variação volumétrica. Resistência mecânica.

### **Abstract**

In view of the current scenario where environmental concern has become a protagonist, soil stabilization with the addition of lime and cement has emerged as an alternative, sustainable and viable form of application in civil construction. In this way, this work has the objective of studying the chemical stability of the soil, adding cement and lime, in a soil of medium texture with 25% of clay, in order to improve it mechanically to favor its application in soil-cal-cement, the ecological bricks. To proceed, tests were performed varying the percentage of cement and lime in amounts of 0 to 13% in relation to the soil mass. The work procedures are related to soil preparation, analysis of volumetric variation through physical-chemical test, modeling and rupture of test specimens. In the volumetric variation, the samples of 3% of lime presented regular behavior on the trend curve according to the percentage variation of cement. From the mechanical tests, the batches with 3% of lime to 7% and 9% of cement were the only ones that presented average mechanical resistance higher than the minimum established by NBR 8491. At the end of the experiments it can be verified that the variation 3% of lime to 7% of cement on soil mass, was shown to have satisfactory results for the production of soil-cement-brick because it presented superior resistance to the minimum normalized and because it is more economically viable in terms of market prices for lime and cement, than with 9% cement.

**Keywords:** Chemical soil stabilization. Ecological bricks. Brick single-lime-cement. Volumetric variation. Mechanical resistance.

### **Resumen**

Ante el actual escenario donde la preocupación ambiental se hizo protagonista, la estabilización de suelo con adición de cal y cemento surgió como una forma alternativa, sostenible y viable de aplicación en la construcción civil. De esta forma, este trabajo tiene como objetivo el estudio de la estabilidad química del suelo, añadiendo cemento y cal, en un suelo de textura media con 25% de arcilla, a fin de mejorarlo mecánicamente para favorecer su aplicación en ladrillos suelo-cal- el cemento, los ladrillos ecológicos. Para proceder, se

realizaron ensayos variando el porcentaje de cemento y la cal en cantidades de 0 a 13% en relación a la masa de suelo. Los procedimientos del trabajo corresponden a la preparación del suelo, análisis de variación volumétrica a través de ensayo físico-químico, modelado y rompimiento de los cuerpos de prueba. En la variación volumétrica, las muestras del 3% de cal presentaron comportamiento regular sobre la curva de tendencia de acuerdo con la variación porcentual de cemento. De los ensayos mecánicos, los lotes con 3% de cal para 7% y 9% de cemento, fueron los únicos que presentaron resistencia mecánica media superior al mínimo establecido por la NBR 8491. Al final de los experimentos se puede ver que la variación 3% de cal para el 7% de cemento sobre masa de suelo, se mostró con resultados satisfactorios para la fabricación del ladrillo suelo-cal-cemento por haber presentado resistencia superior a la mínima normatizada y por ser más viable económicamente, en términos de precios de mercado de la cal y del cemento, que con un 9% de cemento.

**Palabras clave:** Estabilización química de suelo. Ladrillos ecológicos. Ladrillo suelo-cal-cemento. Variación volumétrica. Resistencia mecánica.

## Introdução

A construção civil influencia diretamente o desenvolvimento do país através do avanço na infraestrutura, gerando vários postos de trabalho, alavancando com isso, o setor econômico. O problema é que para a promoção desse desenvolvimento, poucas medidas visando a sustentabilidade foram implantadas, acarretando em um uso excessivo dos recursos naturais.

Salomão, P. E. A. et al. (2018) define o desenvolvimento sustentável como o “desenvolvimento em que a velocidade da inevitável agressão ao ambiente é menor do que a velocidade com que a natureza consegue reagir para compensar esses danos”. Assim, a utilização de tijolos ecológicos<sup>1</sup> representa uma alternativa positiva, como medida de sustentabilidade, para diminuição dos impactos gerados pelo mercado da construção civil. De acordo com Grande, F. M. (2003), o solo, como material de construção, caiu no esquecimento a partir da primeira guerra mundial, quando os métodos construtivos tradicionais foram substituídos por novos sistemas e por produtos industrializados. Esse cenário mudou com a crise energética dos anos 70, favorecendo as construções com solo.

Seguindo essa premissa, de um novo cenário com um maior interesse pelo solo-cimento, foi desenvolvido uma pesquisa da utilização do solo de uma região da cidade de Teófilo Otoni – MG, para confecção de tijolos ecológicos. Essa pesquisa buscou um diferencial em relação as outras, utilizando para isso, não mais solos arenosos, que são os indicados para esse tipo de tijolo, mas sim, solo com maior percentual de fração argilosa, característico da região.

Esse tipo de solo requer um maior percentual de cimento para a sua estabilização química, devido ao elevado teor de sílica, o que aumentaria os custos deste projeto, tornando-o inviável. É por isso que buscou-se um outro material para trabalhar juntamente com o cimento na estabilização química do solo, e com custo inferior. O material escolhido foi a cal, pelo potencial de utilização que a mesma possui na área de estabilização de solos, sendo utilizada, para este fim, desde a década de 60 na Europa, tendo a França como pioneira no estudo. (NEVES, 2009).

Com isso, espera-se que a utilização da cal nesse tijolo solo-cimento, venha a diminuir o teor de cimento, mas buscando alcançar, mesmo com essa diminuição, uma resistência mecânica mínima para a mistura, normatizada pelas normas brasileiras para esse material. Essa resistência mecânica foi avaliada a partir da moldagem de corpos de prova da mistura solo-cal-cimento, com alternância nos teores de cal e cimento, através de ensaio de compactação. A avaliação da resistência foi obtida através de ensaio de rompimento, obtendo-se valores que foram comparados com os mínimos requeridos por norma.

Medidas que busquem a sustentabilidade são sempre bem-vindas em qualquer área que prima pelo desenvolvimento, e a construção civil necessita de mais dessas medidas, por ser uma área que agride constantemente o meio ambiente, com destinação indevida dos seus resíduos e pela utilização cada vez maior de produtos industrializados, consumindo cada vez mais as matérias-primas.

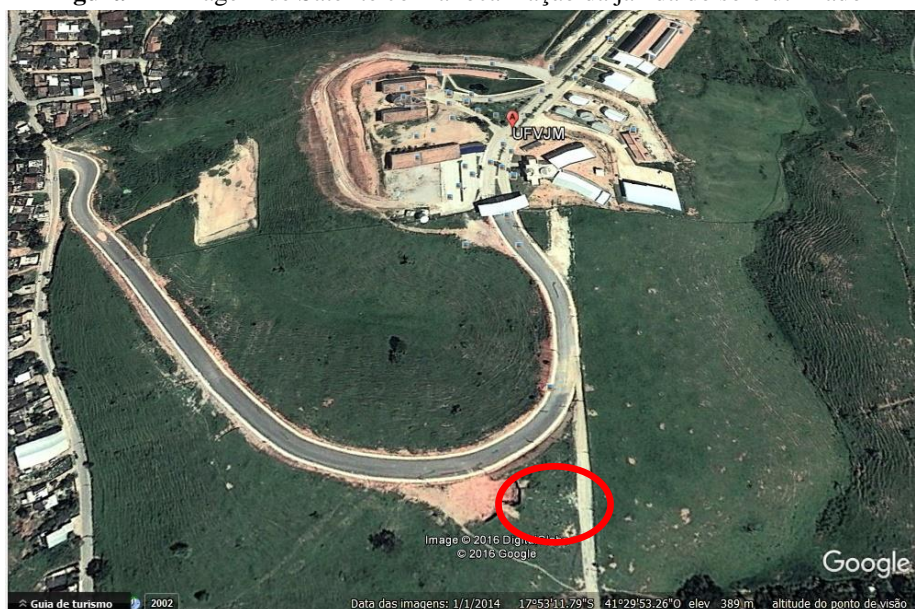
Nesse sentido, este trabalho consiste na estabilização química de um solo da região de estudo e análise da resistência mecânica do mesmo, acrescido de cal e cimento, em percentuais estabelecidos, através do rompimento dos corpos de prova da mistura, separados por lotes com variação nos teores da cal e do cimento, e comparação com os valores de resistência mínima requeridos para viabilidade da sua utilização como matéria-prima na confecção de tijolos ecológicos. O objetivo geral deste artigo é verificar a estabilidade química do solo, adicionando cimento e cal, em um solo de textura média com 25% de argila, a fim de melhorá-lo mecanicamente para favorecer sua aplicação em tijolos solo-cal-cimento, os tijolos ecológicos.

## Materiais e métodos

Este estudo foi conduzido no Laboratório de Mecânica dos Solos e da Água da UFVJM - *Campus* do Mucuri e no Laboratório Multidisciplinar de Engenharia e Arquitetura da Universidade Presidente Antônio Carlos (UNIPAC), ambos em Teófilo Otoni. Os procedimentos descritos competem à preparação de solo, análise de variação volumétrica através de ensaio físico-químico, modelagem e rompimento dos corpos-de-prova.

Tratou-se de sete análises referentes à mistura solo-cal-cimento em proporções distintas. O primeiro passo para a realização dos ensaios foi a retirada do solo da jazida e transporte do mesmo para o laboratório utilizado na UFVJM. O solo em questão foi retirado no bairro Jardim São Paulo, na cidade de Teófilo Otoni, na rua de acesso à UFVJM – *Campus* do Mucuri, localizada entre a Rua Cruzeiro e a Rua São Vicente, nas coordenadas (17°53'11.79" S 41°29'53.35" O), conforme Figura 1.

**Figura 1** – Imagem de Satélite com a localização da jazida do solo utilizado



Para uma melhor compreensão do tipo de solo utilizado, foram levadas amostras para ensaio físico (granulometria) e químico em um laboratório da cidade.

O ensaio físico de análise granulométrica foi realizado conforme a NBR 7181 (ABNT, 1988) e apresentou um solo com textura média, enquadrando-se na Classe Textural Franco. O resultado desse ensaio encontra-se na Figura 2. O ensaio químico apresentou resultados do pH, valor V%, CTC e outros. Esse ensaio é utilizado para correção de solos, sendo possível a caracterização do solo de acordo com os resultados. O resultado desse ensaio encontra-se na Figura 3.

**Figura 2** – Resultado da análise granulométrica

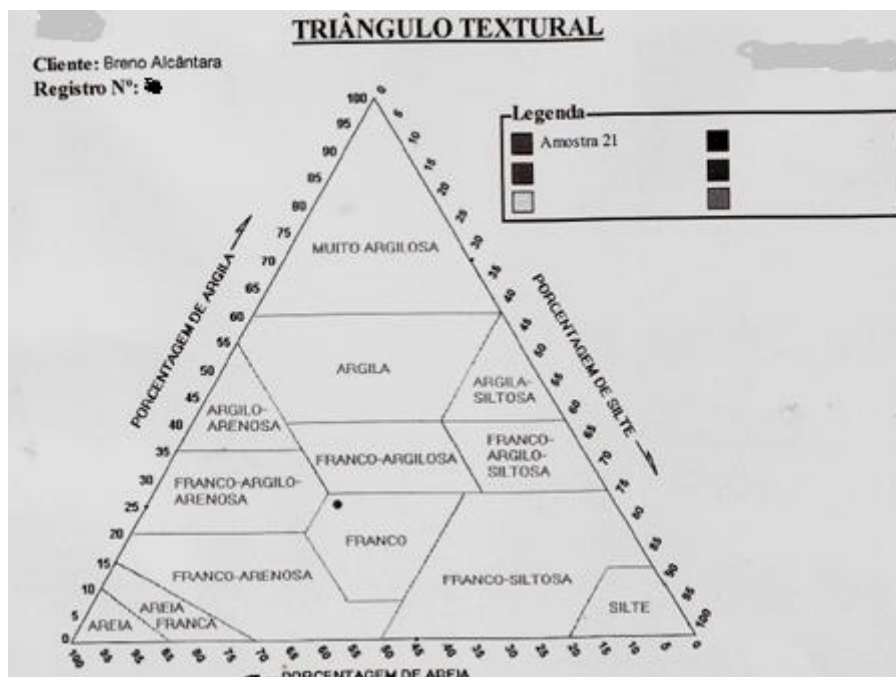


Figura 3 – Resultado do ensaio químico

RESULTADOS ANALÍTICOS												
Ref. Lab.	Referência do Cliente		pH	P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al		
			H <sub>2</sub> O	mg/dm <sup>3</sup>			cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>					
557	Amostra 1		5,4	-	1,4	39	-	0,20	0,50	1,25	2,03	

Ref. Lab.	SB	(t)	(T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>			%		dag/kg	mg/L	mg/dm <sup>3</sup>						
557	0,80	2,05	2,83	28,27	60,98	-	0,41	-	-	-	-	-	-	-

pH em água, KCl e CaCl<sub>2</sub> - Relação 1:2,5  
 P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1  
 Ca - Mg - Al - Extrator: KCl 1N  
 H + Al - Extrator: SMP  
 B - Extrator água quente  
 S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético  
 SB = Soma de Bases Trocáveis

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva  
 CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0  
 V = Índice de Saturação de Bases  
 m = Índice de Saturação de Alumínio  
 ISNa - Índice de Saturação de Sódio  
 Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N  
 P-rem = Fósforo Remanescente

O procedimento para dosagem físico-química do solo-cal-cimento baseou-se no roteiro descrito por Casanova *et al.*, (1992), utilizando sete amostras para análise durante uma semana para cada tipo de mistura.

Objetivou-se a quantificação dos teores de cal e cimento para estabilização do solo, de acordo com uma análise das variações volumétricas do conjunto solo-cal-cimento. A partir da mistura de uma quantidade fixa de 20 g de solo tratado, *a priori*, com cal, variou-se a porcentagem de cimento entre 0 e 13% da mistura do solo, o qual, foi colocado nas provetas e adicionado água para interação físico-química do sistema apresentado. Com o passar dos dias, surgem variação volumétrica nas provetas e anota-se as variações de volume desse sistema a cada dia, após agitação com bastão de baquelite.

Esse procedimento proposto, estabelece uma relação entre a variação volumétrica e a porcentagem de cimento adicionado em cada proveta. Com isso, o ponto de maior variação

volumétrica indica a quantidade de cimento necessário para neutralizar a paragens reativa do solo. O ensaio termina quando a variação volumétrica em algumas provetas atingirem a constância volumétrica e em outras houver decréscimo da variação volumétrica. Observou-se, que uma vez que o solo é tratado previamente com cal a duração do ensaio não ultrapassa quatro dias de duração, quando o solo é tratado com cimento o processo de estabilização físico-química no ensaio pode levar mais de cinco dias.

Cada ensaio foi composto por sete amostras de solo com porcentagem pré-definida de cal, dispostos em sete provetas. Cada proveta recebeu uma porcentagem crescente de cimento, em massa da mistura de solo-cal. Com isso, a cal foi mantida constante ao longo do ensaio, variando a porcentagem de cimento, ou seja, ao final, para cada porcentagem de cal ter-se-á uma porcentagem mínima de cimento para estabilização do sistema. Nesse sistema, a priori, a cal teve a função de reduzir o índice de vazios do solo deixando o cimento com a função de aumentar a resistência do conjunto.

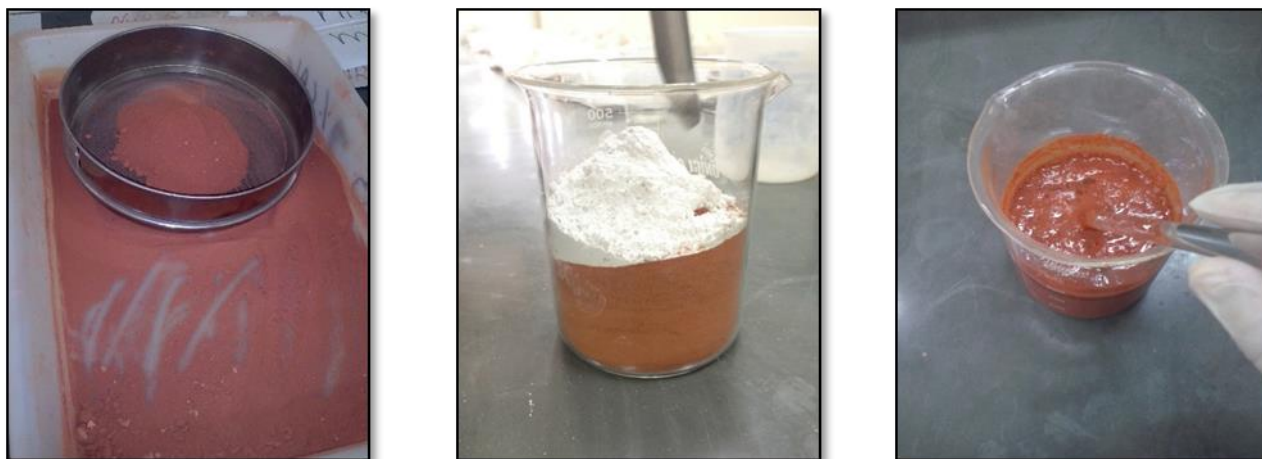
As etapas desse procedimento serão abordadas a seguir.

#### Materiais utilizados

- Balança com capacidade de 150 g e precisão de 0,0001g;
- Béquer de 500 ml;
- Recipiente plástico para secagem de solo estabilizado;
- Bastão de plástico rígido (Baquelite);
- Água destilada;
- Peneira nº30.

O solo coletado foi referente à porção passante em peneira nº30 e misturado de forma homogênea nas seguintes proporções de cal, mensuradas em balança de precisão sob a massa de solo total de 300 g: 3%, 5%, 7%, 9%, 11% e 13%. Totalizando seis amostras de solo-cal. Cada uma delas foi colocada em um béquer de 500 ml e adicionou-se água destilada até a marca de 400 ml e agitou-se a mistura por um minuto em intervalos de quinze minutos durante uma hora. Logo após foi submetido à secagem em recipiente plástico exposto na bancada do laboratório por 15 dias. A Figura 4 mostra as etapas da preparação da mistura.

**Figura 4** – Etapas da preparação da mistura solo-cal: Peneiramento. Mistura. Homogeneização.



#### Materiais utilizados

- Balança com capacidade de 150 g e precisão de 0,0001g;
- Sete béqueres de vidro de 50 ml;
- Sete provetas de vidro graduadas de 250 ml;
- Bastão de plástico rígido;
- Água destilada;
- Almofariz;
- Peneira nº30.

Cada amostra de solo-cal descrita anteriormente foi destorroada em almofariz e peneirada novamente, logo após, foi separada em sete porções de 20 g e colocadas separadamente em béqueres de 50 ml. Para cada uma delas foi misturado homogeneamente 0%, 3%, 5%, 7%, 9%, 11% e 13% de cimento em massa de solo, totalizando 42 amostras distintas de solo-cal-cimento.

O procedimento seguiu-se da seguinte maneira:

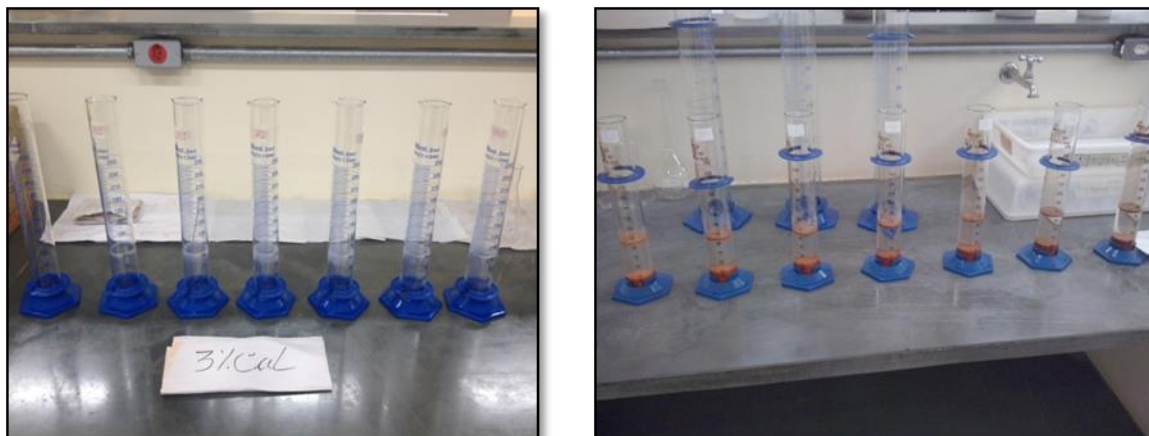
- I. Marcação das provetas com as porcentagens de cimento;
- II. Adicionou-se 50 ml de água destilada em cada proveta graduada;
- III. Transferiu-se a mistura solo-cal-cimento referente para a proveta, completando com água destilada até a marca de 100 ml e realizou-se o agitação por trinta segundos com bastão;
- IV. Deixando a solução por 24 horas em repouso, livre de qualquer tipo de vibração na bancada onde se encontrava as provetas;
- V. No próximo dia agitou-se a amostra por trinta segundos e aguardou-se repouso de 3 horas para efetuar a primeira leitura;



VI. Os processos de agitação e leitura se repetiram até a quarta ou quinta leitura quando atingida a estabilização do volume ou diminuição do mesmo.

A Figura 5 mostra etapas do ensaio. Essas provetas foram lavadas, após o ensaio, com ácido clorídrico, para retirar das paredes o excesso de cal, impregnado devido à calcinação.

**Figura 5** – Etapas da preparação do ensaio físico-químico



Foram feitos cinco experimentos para cada amostra de solo-cal-cimento e os resultados das variações volumétricas foram obtidos por meio do software Origin, plotando-se curvas  $\Delta V\%$  versus %Cimento, para cada porcentagem de cal utilizada.

Para cada ensaio obtido, calculou-se a variação volumétrica de cada proveta através da Equação 1. (BASSO *et al.*, 2003).

$$\Delta V\%_{\text{teor}} = \frac{V_{\text{máx}(\text{teor})} - V_{\text{máx}(0\%)}}{V_{\text{máx}(0\%)}} \quad (1)$$

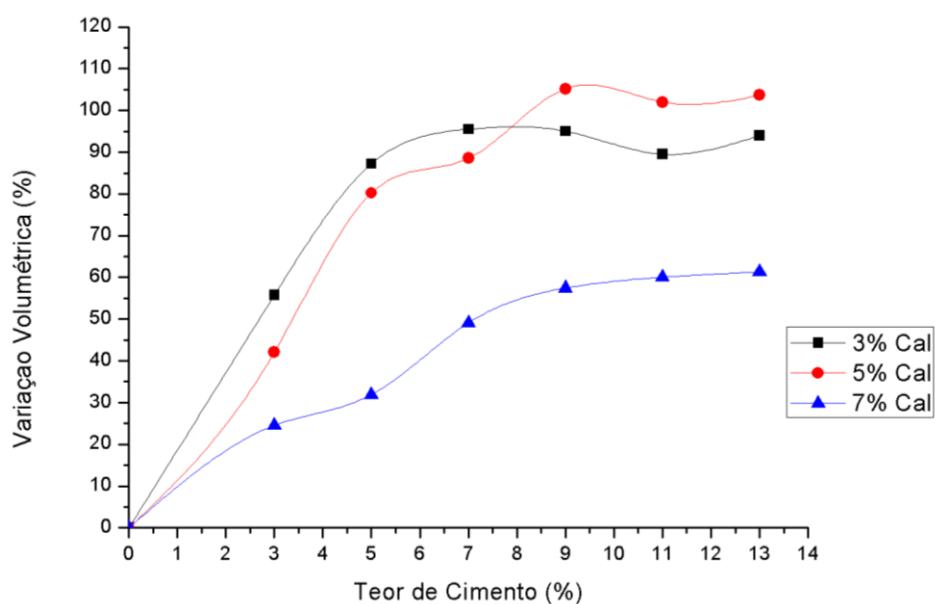
Onde:  $\Delta V\%_{\text{teor}}$  = percentual da variação volumétrica;

$V_{\text{máx}(\text{teor})}$  = volume máximo para cada teor de cimento;

$V_{\text{máx}(0\%)}$  = volume máximo para o teor de cimento de 0%.

Os resultados obtidos foram analisados graficamente, obtendo-se curvas de variação volumétrica *versus* teor de cimento para cada ensaio, totalizando cinco curvas. Esses valores foram tratados por meio da função tendência, que consiste em um retorno de valores em uma tendência linear usando o método dos quadrados mínimos. Com isso, será apresentado a seguir o resultado do procedimento físico-químico com variação de cal até 7%. A Figura 6 a seguir apresenta o gráfico com as curvas dos ensaios com 3%, 5% e 7% de cal, que foram os que apresentaram resultados consistentes.

**Figura 6** – Resultado da análise volumétrica



Os resultados das análises volumétricas para cada porcentagem de cal, indicaram qual valor mínimo de cimento para a estabilização da paragênese reativa do solo. A bibliografia indica que a porcentagem de cal necessária para estabilização na maioria dos solos, fica entre 2 a 5%. (NEVES, 2009). Por isso, os resultados com porcentagem de cal superior a 5%, apresentaram resultados variados e inconsistentes, provavelmente por causa do aumento nas reações de floculação, o que provocou uma reatividade muito elevada.

Para 3% de cal, indicado pela curva com pontos quadrados, houve uma variação volumétrica com 7% de cimento Portland, indicando que é esse um valor ideal de CP para estabilização desse solo e aumento de resistência mecânica. Isso será comprovado com os resultados dos ensaios de rompimento com esses teores de cal e cimento.

Para 5% de cal, indicado no gráfico pela curva com pontos circulares, a primeira variação indicou um teor de 6% de CP. Seria inviável a fabricação de tijolos com essas concentrações, por isso, foi realizado ensaios de rompimento com corpos de prova com 5% de cal e 3% de cimento para observar os valores.

Para 7% de cal, indicado no gráfico pela curva com pontos triangulares, uma variação volumétrica inicial foi observada na faixa de 5% de CP, o que seria também inviável para fabricação de tijolos ecológicos, por isso, foram preparados corpos de prova com 7% de cal e 3% de cimento para rompimento para avaliar os resultados.

A moldagem dos corpos de prova obedeceu a NBR 12024 (ABNT,2012). Consistiu na moldagem de corpos de prova, em cilindro de Proctor normal, sendo realizado através da compactação de três camadas da mistura solo-cal-cimento úmida, submetidas à 26 golpes com soquete padronizado. A compactação seguiu as orientações preconizadas na NBR 12023 (ABNT, 2012). As Figuras 7 e 8 mostram etapas da moldagem, da compactação e da extração dos corpos de prova.

O ensaio de rompimento, normatizado pela NBR 8492 (ABNT, 2012), consistiu na verificação da resistência à compressão do corpo de prova e foi feito após 3, 14 e 28 dias de cura, rompendo três unidades em cada data. A resistência aos 28 dias é a que serviu de comparação com o resultado obtido na análise físico-química e com a resistência mínima para tijolos solo-cimento estabelecida na NBR 8491 (ABNT, 2012).

**Figura 7** – Etapas da moldagem: Mistura. Compactação. Regularização



**Figura 8** – Etapas da moldagem: Extração. Cura. Máquina de rompimento



## Resultados e discussão

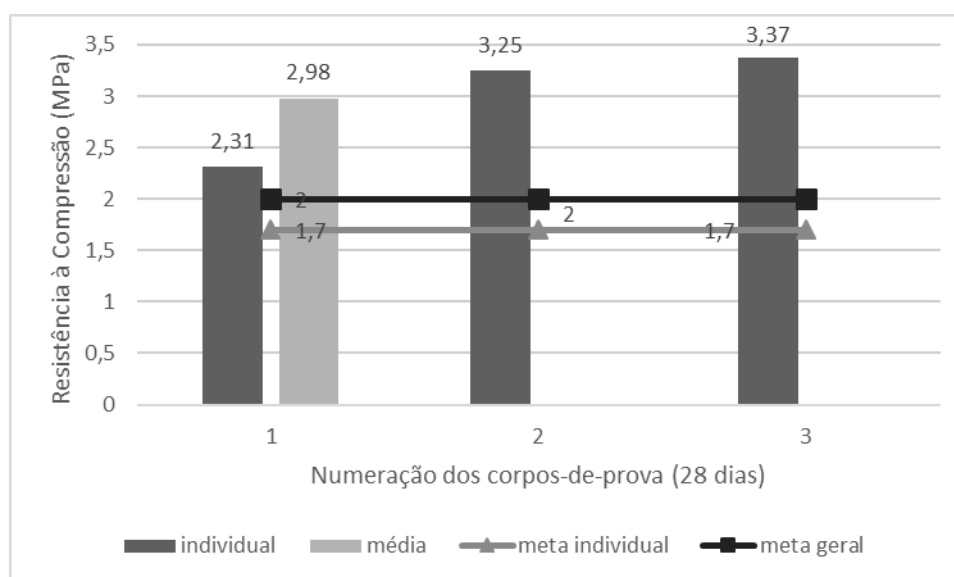
Através dos resultados dos ensaios de rompimento após 28 dias de cura dos corpos de prova dos seis grupos analisados, foi comparado o mínimo requerido por norma. De acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012), a resistência mínima para tijolos solo-cimento após 28 dias é 1,7 MPa para cada corpo de prova individual e de 2 MPa para a média das resistências à compressão dos corpos de prova.

Os gráficos com os resultados dos rompimentos foram obtidos por meio do Excel e buscou-se identificar, por meio de linhas de meta, se cada um dos três corpos de prova rompidos aos 28 dias de cura, alcançaram a resistência individual mínima. Para isso, traçou-se uma linha de meta para a resistência individual, representada pela linha com pontos triangulares, e outra linha de meta para a resistência da média do grupo, representada pela linha com pontos quadrados.

Ainda nos gráficos, além das resistências à compressão de cada corpo de prova, representadas pelas colunas cinza escuro, os mesmos ainda apresentam a média das resistências dos três corpos de prova, representada pela coluna cinza claro.

O Gráfico 1 apresenta os resultados do ensaio de rompimento para o lote com 3% de cal e 7% de cimento.

**Gráfico 1** - Ensaio de rompimento do lote com 3% de cal e 7% de cimento

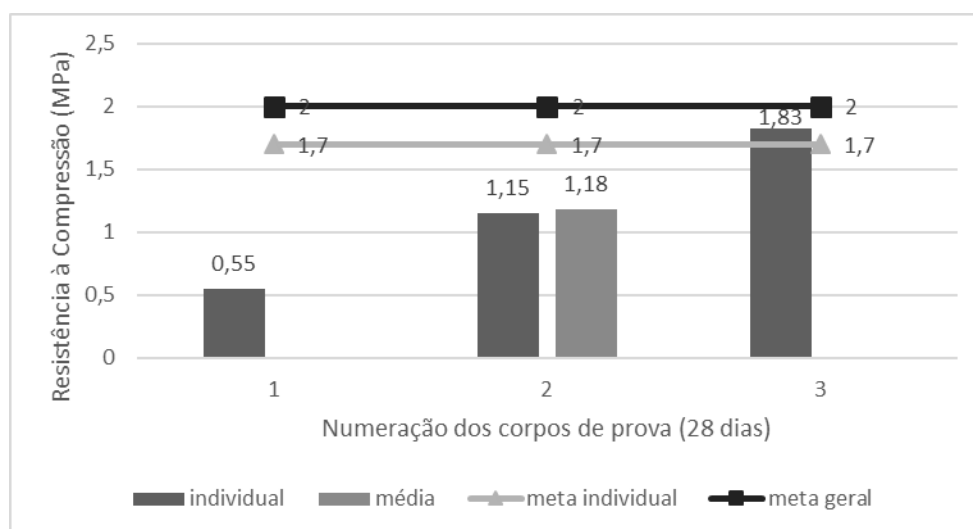


Esse lote alcançou as resistências mínimas requeridas por norma, superando tanto na resistência individual, como na média.

Uma análise química é de extrema importância quando se trabalha com misturas, e quando realizada criteriosamente, apresenta uma fidedignidade dos resultados obtidos, como foi o caso dos resultados encontrados pela análise físico-química, realizada neste trabalho, para o solo com percentual de cal de 3%.

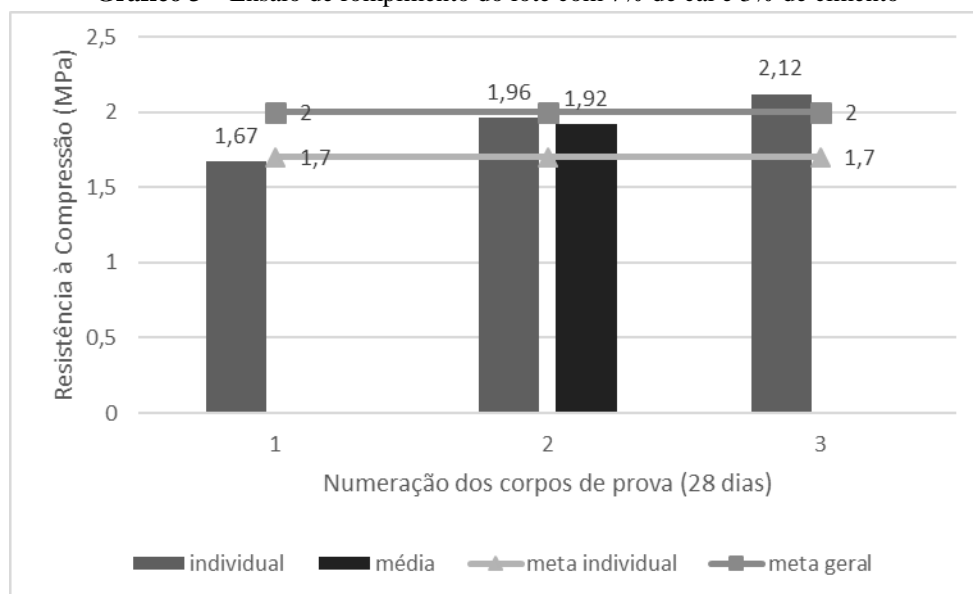
O Gráfico 2 apresenta os resultados do rompimento do lote de 5% de cal e 3% de cimento. Os resultados para este lote não foram satisfatórios, não alcançando a resistência média requerida. Apenas um corpo de prova ultrapassou a resistência individual mínima normatizada, mas seria descartado pela diferença com os outros dois testemunhos.

**Gráfico 2** – Ensaio de rompimento do lote com 5% de cal e 3% de cimento



O Gráfico 7 apresenta os resultados do rompimento do lote de 7% de cal e 3% de cimento.

**Gráfico 3** – Ensaio de rompimento do lote com 7% de cal e 3% de cimento



Os resultados deste último ensaio foram bem expressivos. Aumentando a percentagem de cal em 7% e mantendo a percentagem de cimento em 3%, as resistências individuais foram elevadas, tendo dois corpos de prova ultrapassado a resistência individual mínima requerida, de 1,7 MPa.

A média das resistências dos três corpos de prova rompidos aos 28 dias de cura, não ultrapassou a resistência mínima requerida por norma, mas ficou próxima da mesma.

## Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho, mostram que a análise físico-química é um importante indicativo do teor satisfatório de cal e cimento utilizado na estabilização da paragênese reativa de um solo, neste caso, o solo de Textura Franco com teor de 25% de argila, fato este comprovado pelas

resistências mecânicas determinadas em ensaios de rompimento com os corpos de prova à 28 dias de cura em câmara de areia.

As amostras com percentual de 3 e 7 por cento de cal e cimento, respectivamente, apresentaram valores satisfatórios de resistência, indicando a eficácia da análise físico-química realizada em laboratório, a qual indicou esses mesmos teores em uma das suas análises de variação volumétrica. Estas análises, concomitantemente com os testes de ruptura, comprovaram que o solo adquiriu estabilização química favorável ao ganho de resistência. É importante salientar que o método físico-químico pode ser utilizado como uma excelente aproximação do teor de cimento necessário para estabilizar a paragénese reativa do solo, não exclui de forma alguma a utilização de métodos mecânicos para determinação da resistência dos corpos de prova. O método físico-químico deve sempre ser associado a teste de rupturas mecânicos.

Pode ser visto também que no desenvolvimento deste trabalho fica como sugestão de trabalhos futura, um estudo físico químico mais aprofundado do solo, afim de elucidar melhor algumas constituintes químicos que conferem uma força de coesão no solo, além de um estudo mais aprofundado em mecânica dos solos, no local onde foi coletado a amostras, como uma sondagem SPT para elucidar melhor o perfil do solo.

#### **Referências**

ABNT, N. (1988). NBR 7181–Solo–Análise granulométrica. *Rio de Janeiro*.

ABNT, N. (2012). NBR 8491–Tijolo de Solo-Cimento-Requisitos. *Rio de Janeiro*.

ABNT, N. (2012). NBR 8492– Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio. *Rio de Janeiro*.

ABNT, N. (2012). NBR 12023– Solo-cimento — Ensaio de compactação.. *Rio de Janeiro*.

ABNT, N. (2012). NBR 12024– Solo-cimento — Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento... *Rio de Janeiro*.

Basso, R. V., Ferraz, R. L., Belincanta, A., & dos Santos Ramos, F. APLICAÇÃO DO MÉTODO FÍSICO-QUÍMICO DE DOSAGEM DE MISTURAS SOLO-CIMENTO AOS SOLOS TÍPICOS DO NOROESTE DO PARANÁ.

Casanova, F. J., Ceratti, J. A. P., & Rodrigues, M. D. G. M. (1992). Procedimento para a Dosagem Físico-química do solo-cimento. *REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Sergipe; Aracaju*, 82-86.

Cristina, P., Salomão, P. E. A., Cangussú, L., & de Carvalho, P. H. V. (2018). Tijolo solo cimento com adição de fibra vegetal: uma alternativa na construção civil. *Research, Society and Development*, 7(9), 12.

Neves, E. N. S. D. A. (2009). Estudo laboratorial de solos tratados com cal: modelos de comportamento.

Grande, F. M. (2003). *Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Pedro Emílio Amador Salomão – 40%

Breno Alcântara Silva – 30%

Flávio Alchaar Barbosa – 30%