



Resíduo da Mineração de Calcário Laminado na Correção da Acidez do Solo e na Nutrição do Feijoeiro

Residue of the Limestone Mining in the Correction of the Soil Acidity and in the Nutrition of the Bean

Victor Viana Vasques¹;
Julius Blum²; Christiano Magini¹ & Larissa Matos Marinho³

¹Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Av. Mister Hull 2977, Bloco 913, 60440-554, Campus do Pici, Fortaleza, CE, Brasil

²Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Av. Mister Hull 2977, Bloco 807, 60440-554, Câmpus do Pici, Fortaleza, CE, Brasil

³Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Av. da Abolição, 3207, 60165-081, Meireles, Fortaleza, CE, Brasil

E-mails: victor_vasques88@hotmail.com; jblum@ufc.br; magini2005@hotmail.com; larissamatasm@hotmail.com

DOI: http://doi.org/10.11137/2020_2_150_160; Recebido: 26/07/2019 Aceito: 22/04/2020

Resumo

O calcário laminado pertencente ao Membro Crato da Formação Santana, que compõe a estratigrafia da Bacia do Araripe, é comercialmente conhecido por Pedra Cariri e é explorado há mais de 70 anos como rocha ornamental. Em Nova Olinda - CE, a sua exploração vem causando uma série de impactos ambientais por conta da elevada geração e estoque de resíduos na localidade. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar uma possibilidade de destinação para esses resíduos, através da utilização do pó do resíduo da Pedra Cariri na correção da acidez do solo, para isso, foram avaliados os efeitos da calagem na fertilidade do solo, nutrição e produtividade de feijão-caupi. O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com 4 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos (T) consistiram de: controle sem aplicação de calcário (T1); 50 % (T2), 100 % (T3) e 200 % (T4) da dose recomendada, para elevar a saturação por bases do solo para 60 %. O resíduo finamente moído foi incorporado até a profundidade de 0,2 m e o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), variedade crioula, foi cultivado após a reação do resíduo no solo. O resíduo da Pedra Cariri foi eficiente na correção da acidez do solo, elevando o pH a níveis satisfatórios e reduzindo os teores acidez trocável, acidez potencial e percentagem de saturação por alumínio. Ocasinou variações significativas nos teores potássio, magnésio, enxofre, ferro e manganês no tecido vegetal dos feijoeiros. Não foi observado nenhum sintoma de toxidez ou deficiência de nutrientes nas plantas. Não houve variação significativa na produtividade, porém os valores obtidos foram superiores a trabalhos realizados com o mesmo cultivar.

Palavras-chave: Resíduo; Pedra Cariri; Calagem

Abstract

The laminated limestone belonging to the Membro Crato of the Formação Santana, which composes the stratigraphy of the Bacia do Araripe, is commercially known as Pedra Cariri and has been exploited for more than 70 years as ornamental rock. In Nova Olinda – CE, its exploitation has caused a series of environmental impacts due to the high generation and stock waste in the locality. The objective of this research was to evaluate the use of this residue to control soil acidity, thus, the effects of the residue application were evaluated on soil fertility, cowpea plant nutrition and grain yield. The experimental design was randomized blocks, with 4 treatments and 5 replicates. The treatments consisted: control without application of limestone (T1); 50% (T2), 100% (T3) and 200% (T4) of the recommended dose, to raise soil base saturation to 60%. The grounded rock (<0.177 mm) was incorporated in the 0,2 m soil layer and cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), creole variety, was cultivated after the reaction of the residue in the soil. The rock residue was efficient in the correction of soil acidity, raising the pH to satisfactory levels and reducing the exchangeable acidity, potential acidity and saturation by aluminum, besides causing significant variations in the potassium, magnesium, sulfur, iron and manganese contents in the plant leaves. No toxicity or nutrient deficiency symptoms were observed in plants. There was no significant change in grain yield, but the values obtained were higher than those obtained with the same cultivar.

Keywords: Residue; Pedra Cariri; Liming

1 Introdução

A extração de calcário sedimentar laminado, denominado Pedra Cariri, constitui-se na principal atividade econômica dos municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda, no sul do Ceará. Pertencente ao Membro Crato da Formação Santana, e depositado durante o Cretáceo Inferior (cerca de 120 milhões de anos) (Viana & Neumann, 2002), esse calcário vem sendo explorado há cerca de 30 anos para aplicação como piso e revestimento de fachadas na forma de lajotas (Vidal *et al.*, 2007).

Segundo Vidal *et al.* (2005), em toda a cadeia produtiva, desde a lavra até o beneficiamento, há uma perda estimada em 70% de material ao final de todo o processo, podendo atingir até 90% se contabilizado o grande volume de material de cobertura ou volumes superficiais sem qualidade para atender ao uso como revestimento. Os autores concluíram que o volume contido nos depósitos de resíduos das pedreiras totalizava, até então, em torno de 1.030.000 m³, sendo 755.000 m³ em Nova Olinda e 275.000 m³ em Santana do Cariri, correspondendo a 2,4 milhões de toneladas.

Castro *et al.* (2007) afirmam que os principais problemas ambientais referentes à extração da Pedra Cariri são a retirada do capeamento de estéril, formação das pilhas de resíduos provenientes da lavra e os resíduos sólidos do beneficiamento, erosão das encostas e áreas desmatadas e o assoreamento de riachos e do rio Cariús, principal rio da região.

Trabalhos realizados relatam a possibilidade de utilização de pó de rocha no enriquecimento mineral e na correção de acidez de solos (Fyfe *et al.*, 2006). Essa técnica tem mostrado efeitos positivos sobre a qualidade química de solos (Vasques *et al.*, 2019) e representam uma alternativa de baixo custo e ambientalmente segura para agricultores de países em desenvolvimento (Straaten, 2006).

A correção da acidez dos solos ácidos se faz necessária por elevar o pH a nível satisfatório de modo a proporcionar um melhor desenvolvimento de culturas agrícolas, corrigir deficiências de cálcio e magnésio, eliminar a toxidez do alumínio trocável, melhorar o ambiente físico para as raízes e melhorar o aproveitamento dos fertilizantes (Aquino *et al.*, 1993). A correção da acidez do solo é usualmente realizada pela aplicação de rochas calcárias moídas, num processo denominado calagem.

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar os efeitos da aplicação do resíduo da Pedra Cariri na correção da acidez do solo, através de análises na fertilidade do solo, na nutrição e produtividade de plantas cultivadas nesse solo.

2 Material e Métodos

Foi realizado um experimento em campo em delineamento experimental de blocos ao acaso com 4 tratamentos e 5 repetições, em um total de 20 unidades experimentais (figura 1). Os tratamentos consistiram de: controle sem calagem (T1), 50% (T2), 100% (T3) e 200% (T4) da dose recomendada (DR) do resíduo da Pedra Cariri. A DR foi definida a partir da análise inicial do solo com objetivo de elevar a saturação por bases para 60%.

A unidade experimental foi constituída por parcela de 9 m² (3 m por 3 m). A área útil da unidade experimental foi determinada eliminando-se 0,5 m de borda dos 4 lados da parcela, totalizando uma área útil de 4 m² (2 m por 2 m).



Figura 1 Mapa de localização e organização das unidades experimentais. T indica o tratamento aplicado e R o número da repetição de cada tratamento.

2.1 Coleta do Resíduo e Moagem

O resíduo do calcário utilizado no experimento foi coletado na mina de extração da Pedra Cariri localizada no município de Nova Olinda (Figura 2). Foram coletadas 30 amostras de resíduos espalhadas por toda a área da mina.

Esse material foi moído em três etapas, passando por britador de mandíbulas, moinho de discos e moinho de panelas, até chegar a um pó de granulometria muito fina. O pó foi peneirado em peneira de 80 mesh, com granulometria inferior a 0,177 mm, para garantir a sua completa reação no solo.

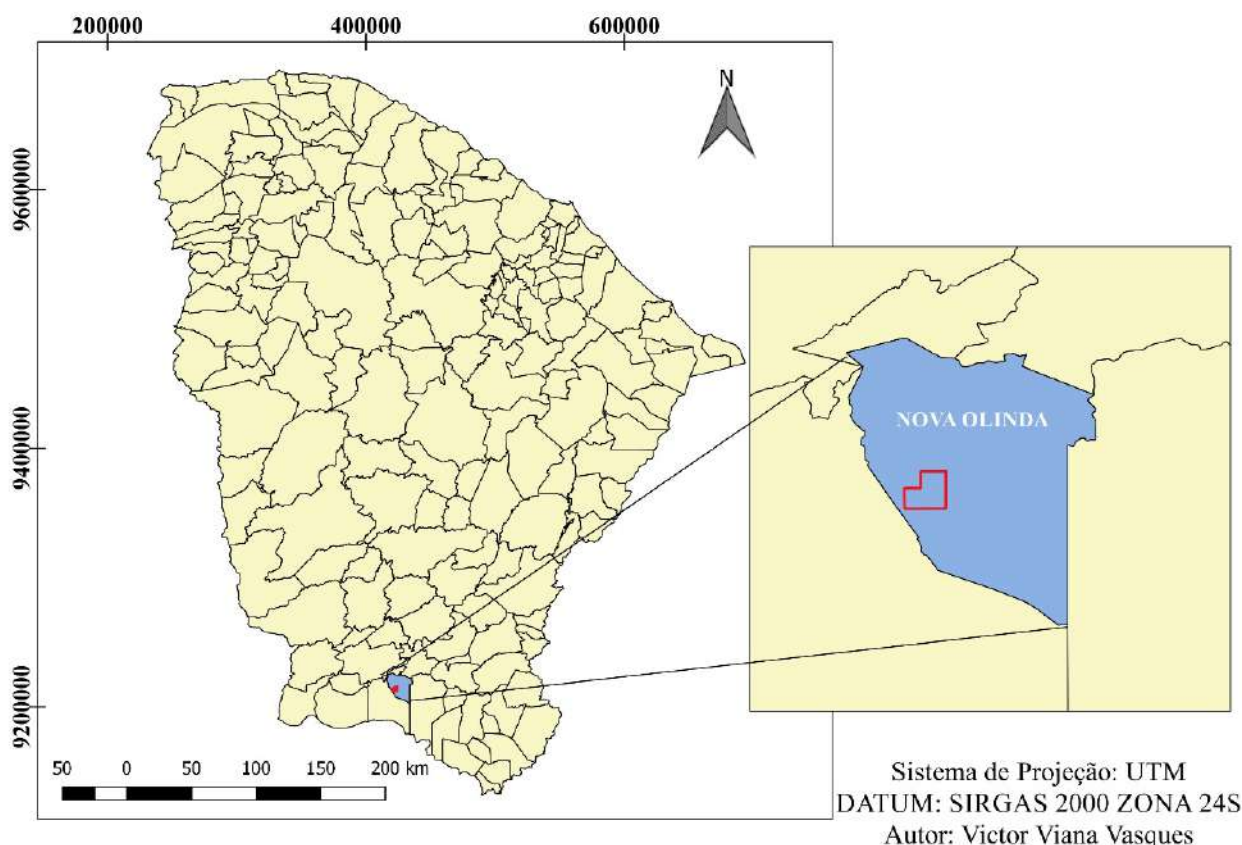


Figura 2 Mapa do estado do Ceará com destaque no município de Nova Olinda, em azul. Em vermelho, a área da mina de extração da Pedra Cariri.

2.2 Caracterização do Solo

O experimento foi realizado no Campus do Pici em Fortaleza – CE, em uma área que faz parte do Grupo de Estudos e Práticas em Permacultura – GEPE.

Foi realizada caracterização física e química do solo de acordo com a metodologia descrita por Donagema *et al.* (2011). Realizou-se análise de granulometria (teores de areia, silte e argila) pelo método da pipeta e densidade aparente do solo pelo método do anel volumétrico. Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} foram determinados em extrato de KCl 1 mol L^{-1} ; $\text{H} + \text{Al}$ foi determinado em acetato de cálcio; K^+ e Na^+ foram determinados em HCl 0,05 mol L^{-1} e

H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} . A concentração de N total foi determinada pelo método semimicro Kjeldahl em extratos de digestão sulfúrica. O carbono orgânico foi determinado de acordo com o método descrito por Yeomans & Bremner (1988), que é realizada uma oxidação da matéria orgânica por via úmida com dicromato de potássio na presença de ácido sulfúrico e aquecimento externo, e titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal.

O solo foi classificado conforme metodologia descrita por Santos *et al.* (2006), tratando-se de um Argissolo Vermelho Amarelo, franco arenoso, com 74,7% de areia, 11,3% de argila e 14,0% de silte.

2.3 Caracterização do Calcário e Recomendação de Calagem

A caracterização química do resíduo calcário coletado em Nova Olinda foi realizada através de análise em Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV (MEV/EDS) da marca Hitachi e modelo TM-300 EDS SWIFT ED3000. O resíduo apresenta: 52,03% de CaO; 1,46% de MgO; 0,46% de SiO₂; 0,04% de Al₂O₃; 0,12% de Na₂O; 0,15% de SO₃; 45,72% de CO₂.

O Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) foi calculado pela multiplicação do Poder de Neutralização (PN) pela reatividade (R) do calcário (Bellingieri *et al.*, 1988). O PN, de 99,37%, foi determinado de acordo com o procedimento oficial da legislação brasileira (Lanarv, 1983), pelo método denominado simplificado. Assumiu-se valor de R de 100%, pois o calcário moído foi peneirado em peneira de 80 mesh.

Seguindo a metodologia descrita por Bellingieri *et al.* (1988), foi determinado o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), conforme a Equação 1:

$$\text{PRNT} = (\text{PN} \times \text{RE}) / 100 \quad (1)$$

Onde:

PN é o Poder de Neutralização;

RE é a Reatividade.

Assim, o valor de PRNT do rejeito da Pedra Cariri foi de 99,37%.

A necessidade de calagem (NC) foi determinada de acordo com Sousa (2007) pelo método da saturação por bases (V), conforme a Equação 2:

$$\text{NC} \text{ (t/ha)} = T \times (\text{Ve} - \text{Va}) / 100 \quad (2)$$

Onde:

NC é a necessidade de calcário, em t/ha (com PRNT 100%);

Va é a saturação por bases desejada, em %;

Ve é a saturação por bases do solo, em %, fornecida no laudo de análise;

T é a capacidade de troca de cátions do solo, em cmol_c dm⁻³.

A saturação por bases desejada (Va) foi igual

a 60%; a percentagem da saturação por bases do solo (Ve), obtida por análise química, foi de 49,6%; a CTC do solo foi de 5,38 cmol_c dm⁻³. Assim, a NC de calagem foi de 0,559 t ha⁻¹ para o pó do rejeito da Pedra Cariri. Portanto a dose recomendada – DR para uma parcela de 9 m² de solo foi de 503 g.

2.4 Incorporação de Calcário no Solo

As respectivas DR do pó do resíduo da Pedra Cariri foram incorporadas a uma camada de 20 cm de solo. A calagem foi realizada em fevereiro de 2017 e mantida em pousio durante 8 meses, no intuito de garantir a completa reação do calcário durante o período chuvoso na região, que vai de fevereiro a junho.

2.5 Irrigação

Um sistema de microaspersão foi implementado na área experimental anteriormente ao plantio de feijão. O espaçamento entre as linhas de microaspersores foi de 3 metros e o espaçamento entre microaspersores dentro das linhas foi de 2,5 m. O teste de uniformidade revelou Coeficiente de Uniformidade de Christiansen – CUC igual 97%, Coeficiente de Uniformidade Estatística – Us igual a 70,35% e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição – CUD igual a 62,8%. Valores considerados excelente, razoável e razoável, respectivamente, e dentro dos padrões aceitáveis segundo Mantovani (2001).

Antes do plantio de feijão foi aplicada lâmina d'água suficiente para que a umidade do solo atingisse a capacidade de campo. A umidade foi mantida a partir de irrigações diárias, cuja lâmina foi calculada pela multiplicação da evapotranspiração potencial estimada a partir de dados obtidos em estação agrometeorológica e pelos coeficientes de cultura (Kc) nos diferentes estágios de desenvolvimento dos feijoeiros.

2.6 Adubação

A adubação, com incorporação de 13,3 Mg ha⁻¹ de composto orgânico nas linhas de cultivo, foi realizada duas semanas antes do plantio.

O composto orgânico utilizado apresentou a

seguinte composição: 1% de N, 0,03% de P; 1,24% de Ca; 0,08% de Mg; 0,08% de S; 1824 mg kg⁻¹ de Fe; 33 mg kg⁻¹ de Zn; 4 mg kg⁻¹ de Cu; 68 mg kg⁻¹ de Mn; 220 mg kg⁻¹ de Na e K não foi detectado boro na amostra. Apresentou 8,52% de umidade, 8,02% de carbono, relação carbono/nitrogênio (C/N) igual a 8 e pH igual a 6,2.

2.7 Plantio do Feijão

Sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), variedade crioula foram plantadas no dia 20 de outubro de 2017. A unidade experimental foi constituída por seis linhas de plantio, com espaçamento de 0,5 m entre linhas e de 0,2 m entre covas na mesma linha. Foram plantadas 2 sementes por cova nas 4 linhas localizadas no interior da área útil de cada unidade experimental, e 1 semente por cova nas duas linhas fora da área útil das unidades experimentais.

3 Avaliações

3.1 Coleta e Análise Química do Solo

A amostragem de solo foi realizada ao final do período de reação do calcário em setembro de 2017, antes do plantio do feijão. Foram coletadas 10 subamostras de solo, da camada de 0-20 cm de profundidade, as subamostras foram misturadas e homogeneizadas para formar uma amostra composta por parcela. O solo foi seco ao ar, peneirado em peneira malha 2 mm e submetido a análises químicas de rotina para fins de fertilidade descritas por Claessen (1997), para determinação de: pH em água; cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺) em KCl 1 mol L⁻¹; Na⁺ e K⁺ em HCl 0,05 mol L⁻¹; H + Al em acetato de cálcio 1 mol L⁻¹. A partir desses resultados foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC), o percentual de saturação por alumínio (m%), o percentual de saturação por bases (V%) e o percentual de sódio trocável (PST).

3.2 Coleta e Análise Nutricional de Tecido Vegetal

A amostragem de folhas para diagnose nutricional foi realizada durante o início do florescimento das plantas de feijão, conforme

recomendação de Malavolta *et al.* (1997). Foram amostradas 20 plantas por parcela, coletando-se o terceiro trifólio a partir da ponta do ramo, que corresponde ao primeiro trifólio maduro. Os trifólios foram armazenados em sacos de papel, identificados e levados para laboratório, onde foram lavados com detergente neutro, depois com água destilada e secos em estufa a 65° C até peso constante.

Foram determinados os teores de N-total, pelo método Kjeldhal, com extração do N total por meio de digestão com ácido sulfúrico + sulfato de Cu e sulfato de K; os teores de P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn, Cu por digestão com ácido nítrico e perclórico e determinados no extrato (P- colorimetria; K- fotometria de chama; S- turbidimetria; Ca, Mg, Zn, Mn, Cu Fe e B - espectrofotometria de absorção atômica), conforme a metodologia descrita por Sarruge & Haag (1974) e Malavolta *et al.* (1997).

3.3 Produtividade

Todas as vagens das plantas da área útil das unidades experimentais foram coletadas manualmente, de acordo com o amadurecimento, a partir do dia 5 de janeiro, 65 dias após a semeadura. Os grãos foram extraídos das vagens, secos e pesados em balança com precisão de 0,1 g. A produção de grãos por parcela foi convertida para produtividade, expressa em T ha⁻¹.

3.4 Análises Estatísticas

Todas as variáveis relacionadas ao solo, às plantas e à produtividade foram submetidas a análise de variância. Pela análise de variância, as variáveis que apresentaram efeito significativo dos tratamentos, com probabilidade maior que 95%, foram submetidas a análise de regressão. A análise de regressão foi realizada para verificar os efeitos quantitativos dos tratamentos aplicados sobre a fertilidade do solo, nutrição das plantas e produtividade. Também foi realizada análise de correlação para determinar o grau correlação (r) entre os níveis de variações dos parâmetros que compõem fertilidade do solo, do tecido vegetal e a produtividade. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SAS® *University Edition*.

4 Resultados e Discussão

4.1 Efeito da Calagem na Fertilidade do Solo

A análise de variância conjunta dos dados

referentes à fertilidade do solo detectou efeito significativo dos tratamentos sobre o pH, acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al³⁺) e percentagem de saturação por alumínio (m) (Tabela 1).

Variáveis	Fontes de Variação			C.V %
	Tratamento	Bloco	Erro	
	----- Quadrados médios -----			
pH	0,396*	0,303	0,098	6,02
C.E	0,003	0,003	0,004	22,5
Ca	0,606	0,399	0,424	33,5
Mg	0,040	0,253	0,118	33,5
Na	0,005	0,003	0,002	99,38
K	0,001	0,002	0,002	23,5
H + Al	0,468*	0,077	0,137	15,5
Al	0,030*	0,008	0,004	34,65
S	0,550	0,711	0,631	25,4
T	0,014	0,421	0,493	12,8
V	172,05	76,425	75,425	15,3
m (%)	43,8*	15,075	10,175	52,2
PST	0,316	0,3	0,4	43,6
C	1,335	1,863	2,044	18,9
N	0,016	0,023	0,031	23,2
C/N	0,183	0,425	0,725	8,4
M.O	3,973	5,549	6,077	18,9
P	0,0005	0,325	0,625	30,4

CV (%) = Coeficiente de variação; *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 1 Resumo da análise de variância e coeficientes de variação dos parâmetros do solo mediante doses do pó do resíduo da Pedra Cariri aplicadas nos tratamentos.

Houve efeito quadrático da calagem sobre o pH do solo, diminuindo-o de alta acidez no tratamento sem aplicação de calcário para média acidez em 200% da DR. Em 100% da DR o pH atingiu valor de 5,26 (Figura 3 A), também considerado de média acidez segundo Aquino *et al.* (1993). Em estudos realizados em mesmo tipo de solo, Poletto *et al.* (2011), utilizando calcário com PRNT de 75,1%, e Faria *et al.* (2003), utilizando calcário com PRNT de 90%, realizaram calagens e obtiveram aumentos de pH a níveis de variação próximos ao observado na pesquisa em questão.

A acidez trocável (Al³⁺) não apresentou resposta significativa (R² = 0,3306) ao teste de regressão aplicado, portanto, provavelmente,

as variações obtidas no experimento não foram causadas pelas doses do pó do resíduo da Pedra Cariri aplicadas nos tratamentos. Ainda assim, os valores obtidos em todos os tratamentos aplicados são considerados baixos segundo Aquino *et al.* (1993). Cabe ressaltar que não é de se esperar encontrar Al³⁺ em pH acima de 5,5 e, por conta dos valores de pH obtidos nos tratamentos, já era de se esperar baixos teores de acidez trocável. Poletto *et al.* (2011) e Faria *et al.* (2003) encontraram, em 100% da DR, valores de acidez trocável de 0,7 cmol_c kg⁻¹ em pH 5,1 e 0,05 cmol_c kg⁻¹ em pH 6,0, respectivamente, comprovando que os valores obtidos nesta pesquisa são condizentes com pesquisas realizadas em mesmo tipo de solo.

A acidez potencial (H + Al) apresentou resposta quadrática às doses do resíduo da Pedra Cariri, com R² igual a 0,99. Houve uma redução de 2,706 cmol_c kg⁻¹ no tratamento sem aplicação de calcário para 1,984 cmol_c kg⁻¹ em 200% da DR. Em 100% da DR o valor foi de 2,216 cmol_c kg⁻¹ (Figura 3 B).

As alterações nos teores de H + Al do solo foram refletidas na saturação por alumínio do solo. Houve uma diminuição de 3% na saturação por alumínio do solo do tratamento sem calagem para o tratamento com 100% da DR, porém o baixo valor de R² obtido indica que as variações obtidas não têm relação direta com os tratamentos aplicados (Figura 3 C). A saturação por alumínio indica a proporção de alumínio solúvel em relação aos teores de bases trocáveis e alumínio na CTC do solo (Teixeira *et al.*, 2017), portanto, uma diminuição de m(%) indica que houve uma substituição de alumínio solúvel por bases trocáveis na CTC do solo.

Vale ressaltar que a calagem não causou

variações significativas nos teores de nutrientes do solo. Este resultado contraria as expectativas de efeito, principalmente no que diz respeito aos teores Ca²⁺, visto que, por o resíduo apresentar 52,03% de CaO na sua composição, o que representa 0,46 cmol_c kg⁻¹ de Ca aplicados na DR, esperava-se um aumento significativo na concentração desse elemento. Essa falta de variação significativa pode ser explicada pelas condições experimentais e pelo tempo entre a calagem e a análise do solo. A granulometria do calcário (inferior a 0,177 mm) muito fina, associada a textura franco arenosa do solo, e à elevada precipitação pluvial nos meses subsequentes à aplicação (Figura 3 D) (FUNCEME, 2018) podem ter contribuído para a lixiviação do elemento. Ressalta-se que em experimento de incubação preliminar realizado com o mesmo resíduo e mesmo solo, no entanto, em condições de drenagem impedida houve aumento do Ca²⁺ em resposta à aplicação do resíduo (Vasques *et al.*, 2019).

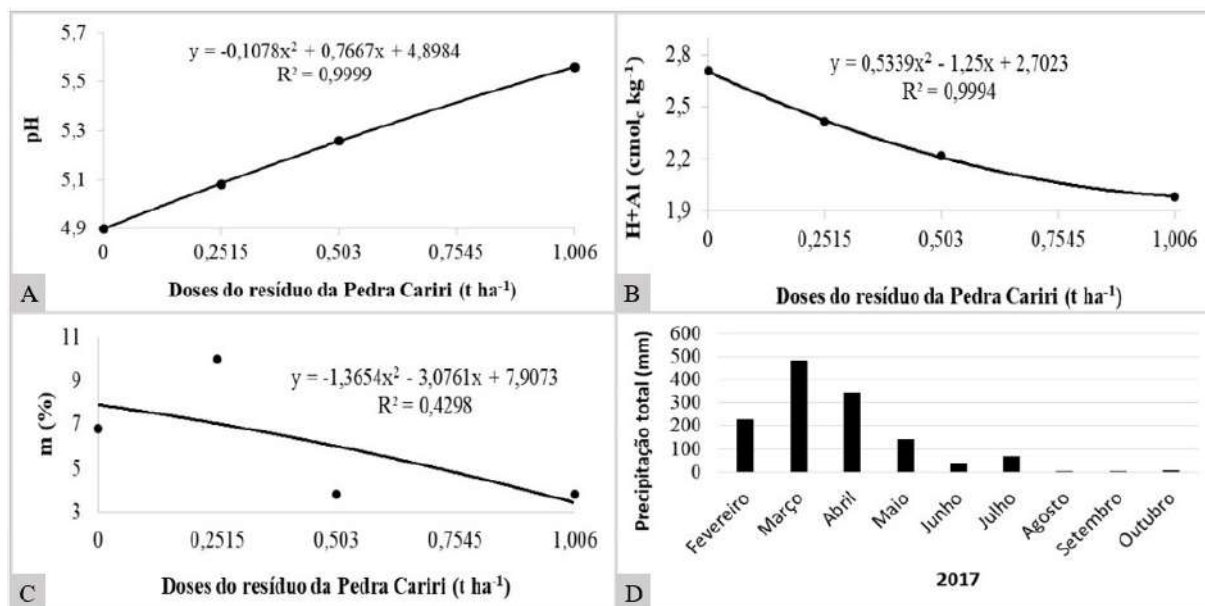


Figura 3 Alterações de pH (A), H + Al (B) e saturação por alumínio (m) (C) do solo na camada de 0–0,2 m de profundidade em resposta às doses do pó do resíduo da Pedra Cariri aplicadas em cada tratamento, onde cada ponto é a média de 5 repetições. Precipitação pluvial mensal em 2017 (D).

4.2 Efeitos da Calagem na Nutrição de Plantas e na Produtividade

A calagem causou variações significativas nos teores de potássio, magnésio, enxofre, ferro e manganês nas folhas dos feijoeiros (Tabela 2).

Comparando os teores de macronutrientes

nas folhas dos feijoeiros que obtiveram variação significativa com as faixas consideradas ideais propostas por Malavolta *et al.* (1997) para o feijão *Vigna*, verifica-se valores considerados acima do adequado pela literatura nos teores de S, enquanto os teores de K e Mg ficaram abaixo da faixa considerada ideal.

Variáveis	Fontes de Variação			C.V %
	Tratamento	Bloco	Erro	
	----- Quadrados médios -----			
N	8,60	31,87	12,95	8,00
P	0,18	0,31	0,09	9,67
K	14,95*	2,77	3,51	7,14
Ca	2,08	8,99	2,11	12,71
Mg	0,46*	0,08	0,08	6,57
S	0,18*	0,23	0,04	8,23
B	19,30	41,66	13,19	10,64
Cu	0,61	0,65	0,87	12,55
Zn	12,48	29,82	5,67	5,60
Mn	2158,43**	521,16	382,62	25,40
Fe	323,67**	75,97	31,18	10,67

CV (%) = Coeficiente de variação; *significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; **significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 2 Resumo da análise de variância e coeficientes de variação dos macro e micronutrientes presentes nas folhas de feijão *Vigna* mediante doses do pó do resíduo da Pedra Cariri aplicadas nos tratamentos.

Os teores foliares de K apresentaram resposta quadrática aos tratamentos, onde o ponto de inflexão da curva foi alcançado numa dose de 0,687 Mg ha⁻¹, chegando ao teor de 27,9 g kg⁻¹ (Figura 4 A). Em todos os tratamentos aplicados, o teor de K ficou acima da faixa proposta (20,0 a 24,0 g kg⁻¹) por Raij *et al.* (1997) para o feijão *Vigna*, porém se mantiveram dentro da faixa proposta (14,0 a 31,0 g kg⁻¹) por Oliveira & Thung (1988) para o mesmo feijão.

Os teores de Mg nas folhas responderam de forma quadrática à aplicação de calcário, com diminuição de 4,70 g kg⁻¹ no tratamento sem aplicação de calcário para 3,97 g kg⁻¹ em 100% da DR, alcançando o menor valor entre os tratamentos aplicados (Figura 4 B). Apesar dos teores se manterem abaixo do proposto por Malavolta *et al.* (1997), ficaram dentro da faixa proposta (2,5 a 5,0 g kg⁻¹) por Raij *et al.* (1997).

Os teores foliares de Mg obtiveram uma forte correlação inversa com os teores de potássio ($r = -0,979$), o que pode ser explicado pelo fato de que o Mg compete com o K por compostos produzidos metabolicamente, e que, portanto, há uma redução na absorção de Ca e Mg quando há presença de K em concentrações significativas (Fageria, 1983). O magnésio é absorvido em menor quantidade do que o cálcio e o potássio e a competição entre

estes cátions é especificamente importante para o primeiro, podendo levar à sua deficiência no campo (Benites *et al.*, 2010).

Os teores de S nas folhas apresentaram resposta quadrática aos tratamentos aplicados, com ligeiro decréscimo de 0,38 g kg⁻¹ em 100% da DR com relação ao tratamento sem aplicação de calcário, chegando ao valor de 2,12 g kg⁻¹ e, portanto, dentro da faixa considerada ideal (0,7 a 2,3 g kg⁻¹) por Oliveira & Thung (1988), porém com todos os outros tratamentos ficaram acima da faixa. Em 200% da DR, atingiu-se o teor máximo de 2,65 g kg⁻¹ (Figura 4 C). Nos 4 tratamentos aplicados, os teores de S se mantiveram dentro da faixa considerada ideal (2 a 3 g kg⁻¹) por Raij *et al.* (1997).

Quanto aos demais macronutrientes: os teores de N (44,97 g kg⁻¹) e P (4,30 g kg⁻¹) se mantiveram acima da faixa considerada ideal (18 a 22 g kg⁻¹ para N; 1,2 a 1,5 g kg⁻¹ para P) proposta por Malavolta *et al.* (1997); Os teores de Ca (11,41 g kg⁻¹) se mantiveram abaixo da faixa considerada ideal (50 a 55 g kg⁻¹) proposta por Malavolta *et al.* (1997), porém se mantiveram dentro das faixas consideradas ideais por Raij *et al.* (1997) e Oliveira & Thung (1988), de 10 a 25 g kg⁻¹ e de 10 a 57 g kg⁻¹, respectivamente.

Quanto aos micronutrientes, comparando os teores dos que obtiveram variação significativa, em

função dos tratamentos aplicados, com as faixas propostas por Malavolta *et al.* (1997) para o feijão *Vigna*, observa-se valores considerados abaixo do adequado para os teores de Fe e acima do adequado para os teores de Mn.

Houve resposta quadrática apresentada pelos teores de Fe em relação aos tratamentos aplicados. No tratamento sem aplicação de calcário foi detectado o mais alto teor (64,14 mg kg⁻¹) e em 50% da DR atingiu o mais baixo teor (46,20 mg kg⁻¹). Em 100% e 200% da DR aumentaram e chegaram a 48,92 mg kg⁻¹ e 49,98 mg kg⁻¹, respectivamente (Figura 4 D). Em todos os tratamentos aplicados, os teores ficaram dentro da faixa proposta (40,0 a 140,0 mg kg⁻¹) por Raij *et al.* (1997).

Houve resposta quadrática apresentada pelos teores de Mn em relação às doses de calcário aplicadas nos tratamentos. No tratamento sem aplicação de calcário foi detectado o mais alto teor (106,72 mg kg⁻¹), havendo um acentuado decréscimo em 50% da DR, atingindo 70,20 mg kg⁻¹. Em 100% da DR houve um pequeno acréscimo (72,66 mg kg⁻¹) e, em 200% da DR, diminuiu para 58,38 mg kg⁻¹ (Figura 4 E). Apesar dos teores detectados estarem bastante abaixo da faixa proposta (400 a 425 mg kg⁻¹) por Malavolta *et al.* (1997), estão dentro da faixa proposta (15 a 100 mg kg⁻¹) por Raij *et al.* (1997), exceto no tratamento sem aplicação de calcário.

Quanto aos micronutrientes que não obtiveram variação significativa em função dos tratamentos aplicados: os teores de Cu (7,43 mg kg⁻¹) se mantiveram acima da faixa considerada ideal (5 a 7 mg kg⁻¹) proposta por Malavolta *et al.* (1997) para o feijão *Vigna*; os teores de Zn (42,48 mg kg⁻¹) se mantiveram dentro da faixa considerada ideal (40 a 50 mg kg⁻¹); os teores de B (34,12 mg kg⁻¹) ficaram abaixo da faixa considerada ideal (150 a 200 mg kg⁻¹).

Não foram detectados sintomas de deficiência e/ou toxidez nos feijoeiros durante o período experimental, mesmo com alguns nutrientes terem ficado fora das faixas de valores consideradas adequadas.

A produtividade não apresentou resposta às doses do pó resíduo da Pedra Cariri aplicadas nos tratamentos (Figura 4 F). Todos os valores obtidos foram superiores aos estudos já realizados com a mesma cultivar (Paiva *et al.*, 1977; Lima *et al.*, 1999). Portanto os altos valores de produtividade obtidos não têm relação com as doses do pó do resíduo da Pedra Cariri aplicadas em cada tratamento.

A análise de correlação não detectou qualquer relação direta na variação da produtividade com a variação de qualquer um dos parâmetros do solo ou do tecido foliar avaliados.

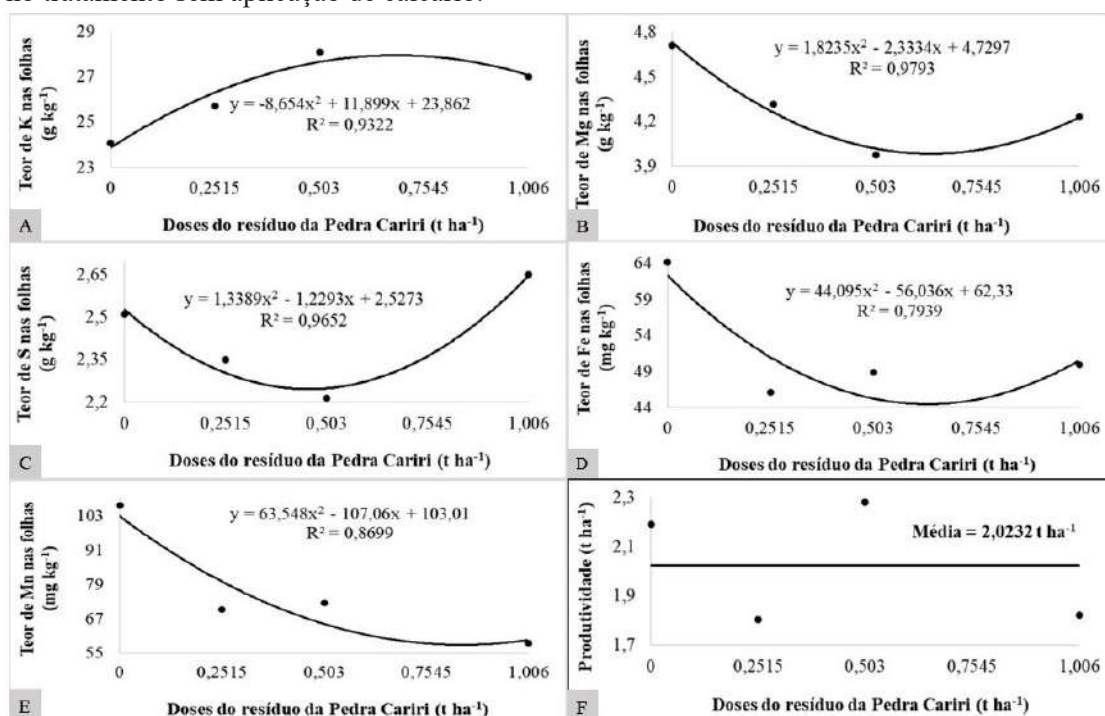


Figura 4 Alterações de potássio (A), magnésio (B), enxofre (C), ferro (D) e manganês (E) no tecido foliar e produtividade (F) dos feijões em resposta às doses do pó do resíduo da Pedra Cariri aplicadas em cada tratamento. Cada ponto é a média de 5 repetições.

5 Conclusões

A calagem com pó do resíduo da Pedra Cariri foi eficiente na correção da acidez, proporcionando uma redução no nível de acidez de alta para média e elevando a saturação por bases, em 100% da DR, para valores próximos aos estipulados pela NC.

Quanto à nutrição de plantas, a calagem proporcionou variação significativa nos teores de potássio, magnésio, enxofre, ferro e manganês no tecido vegetal dos feijoeiros. Porém essas variações não foram capazes de enquadrar esses teores dentro das faixas consideradas adequadas por Malavolta *et al.* (1997).

A calagem não causou variações significativas na produtividade, porém os valores obtidos foram superiores a trabalhos realizados com o mesmo cultivar.

O resíduo da Pedra Cariri tem potencial para ser utilizado comercialmente como corretivo de solo pois foi eficiente na correção da acidez do solo, elevou a saturação por bases a níveis desejáveis e proporcionou variações significativas em alguns nutrientes das plantas sem prejudicar seu desenvolvimento, além de não ter apresentado nenhum tipo de toxidez ao solo e às plantas.

6 Referências

- Aquino, A.B.; Aquino, B.F.; Hernandez, F.F.F.; Holanda, F.J.M.; Freire, J.M.; Crisóstomo, L.A.; Costa, R.I.; Unchôa, S.C.P. & Fernandes, V.L.B. 1993. *Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará*. Ceará, UFC, 247p.
- Bellingieri, P.A.; Alcarde, J.C. & de Souza, E.C.A. 1988. Avaliação da qualidade de calcários agrícolas através do PRNT. *In: ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ*, 45, Piracicaba, 1988. Resumos expandidos, Piracicaba, USP, p. 579-588.
- Benites, V.M.; Carvalho, M.C.S.; Resende, A.V.; Polidoro, J.C.; Bernardi, A.C.C. & de Oliveira, F.A. 2010. O potássio, o cálcio e o magnésio na agricultura brasileira. *In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R.* (Eds). *Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes*. IPNI, p. 137-191.
- Castro, N.F.; Campos, A.R. & Vidal, F.W.H. 2007. Melhoras técnicas na lavra e na proteção do patrimônio e meio ambiente do Arranjo Produtivo Local de Calcários do Cariri - CE. *In: JORNADA DO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INSTITUCIONAL*, 1, Rio de Janeiro, CETEM, p. 21-25.
- FUNCEME. 2018. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em: < <http://www.funce-me.br> >. Acesso em: 25 out. 2018.
- Donagema, G.K.; Campos, D.V.B.; Calderano, S.B.; Teixeira, W.G. & Viana, J.H.M. 2011. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 230p.
- Fageria, N.K. 1983. Ionic interactions in rice plants from dilute solutions. *Plant and soil*, 70: 309-310.
- Faria, C.M.B.; Costa, N.D. & Faria, A.F. 2003. Ação de calcário e gesso sobre características químicas do solo e na produtividade e qualidade do tomate e melão. *Horticultura Brasileira*, 21(4): 615-619.
- Fyfe, W.; Leonardos, O.H. & Theodoro, S.C.H. 2006. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 4: 715-720.
- Lanarv, T. 1983. *Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais*. Brasília, Ministério da Agricultura. 104p.
- Lima, G.P.B.; Aguiar, J.V.; Costa, R.N.T. & Paz, V.P.S. 1999. Rendimento de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas à diferentes lâminas de irrigação. *Irriga*, 4(3): 205-212.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C. & Oliveira, S.A. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações*. Piracicaba, Potafos, 319p.
- Mantovani, E.C. 2001. AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, UFV.
- Oliveira, I.P. & Thung, M.D.T. 1988. Nutrição mineral. *In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M. & YAMADA, T.* (eds.). *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Potafos, p. 175-212.
- Paiva, J.B.; Alves, J.F.; Oliveira, F.J. & Martins, D. 1977. Competição de cultivares de feijão de corda, *Vigna sinensis* (L) Savi, em três municípios do Estado do Ceará. *In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ* (ed.). *Relatório de pesquisa*. UFC, p. 7-16.
- Poletto, I.; Muniz, M.F.B.; Ceconi, D.E. & Blume, E. 2011. *In:*

- fluência da aplicação de NPK e calcário sobre o crescimento da erva-mate, severidade da podridão-de-raízes e população fúngica do solo. *Ciência Florestal*, 21(3): 429-444.
- Raij, B.V.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. & Furlani, A.M.C. 1997. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas, Instituto Agrônomo, 285p.
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Oliveira, J.B.; Coelho, M.R.; Lumbreiras, J.F. & Cunha, T.J.F. 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 306p.
- Sarruge, J.R. & Haag, H.P. 1974. *Análise química das plantas*. Piracicaba, ESALQ, 56p.
- Silva, F.C. 1999. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília, Embrapa Comunicação para a Transferência de Tecnologia, 370p.
- Sousa, D.M.G. 2007. *Acidez do solo e sua correlação*. Viçosa, Fertilidade do Solo, 70p.
- Straaten, P.V. 2006. Farming with rocks and minerals: Challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78: 731-747.
- Teixeira, P.C.; Donagemma, G.K., Fontana, A. & Teixeira, W.G. 2017. *Manual de métodos de análise de solos*. Brasília, Embrapa, 573p.
- Vasques, V.V.; Dias, I.F.; Blum, J.; Almeida, A.R. & Magini, C. 2019. Uso de Rejeito de Mineração de Calcário Ornamental para a Correção de Acidez do Solo e Desenvolvimento de Plantas. *Anuário do Instituto de Geociências*, 42(2): 169-177.
- Viana, M.S.S. & Neumann, V.H.L. 2002. O Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE – riquíssimo registro de fauna e flora do Cretáceo. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M. & BERBERT-BORN, M. (eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Serviço Geológico do Brasil (CPRM)/Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), p. 113-120.
- Vidal, F.W.H., Lima, M.A.B., Castro, N.F. & Fernandes, T.W.G. 2007. Aplicações Industriais dos Calcários do Cariri Cearense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 3, Natal, 2007. Resumos expandidos, Natal, p. 242-254.
- Vidal, F.W.H.; Padilha, M.W.M. & Oliveira, R.R. 2005. Aspectos geológicos da Bacia do Araripe e do aproveitamento dos rejeitos da Pedra Cariri – Ceará. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5, Recife. Resumos expandidos, Recife, p. 31-36.
- Volkweiss, S.J. 1989. Química da acidez dos solos. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 2, Santa Maria, 1989. Resumos expandidos, Santa Maria, UFSM, p. 7-38.
- Yeomans, J.C. & Bremner, J.M. 1988. A Rapid and Precise Method for Routine Determination of Organic Carbon in Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1(19): 1467-1476.