



Estudo do Aproveitamento dos Rejeitos de Caieiras e Fornos Contínuos da Produção da Cal (Mistura Cinza-Cal), Como Fonte de Nutriente Vegetal e Corretivo da Acidez do Solo

Antônia de Castro Côrtes PESSOA¹, Francisco Pessoa MACHADO²,
José Antonio Beltrão SABADIA¹, Boanerges Freire de AQUINO³

Resumo: A área escolhida para os estudos está situada numa zona limítrofe dos municípios de Sobral e Coreaú, que abriga respectivamente as comunidades produtoras de cal de Pedra de Fogo e Aroeiras, no Estado do Ceará, no Nordeste do Brasil. A pesquisa foi realizada com o intuito de investigar a possibilidade do aproveitamento do rejeito gerado nessa atividade, que é constituído de uma mistura cinza e cal. Os estudos foram direcionados no sentido do uso desse resíduo na agricultura, como fonte de nutrientes vegetais e corretivo da acidez do solo. O interesse maior da pesquisa foi o de mitigar os danos ambientais causados pelo acúmulo deste material ao redor das caieiras. Há uma forte geração de poeiras e particulados, elevação dos custos de manejo, e, em função de sua fácil mobilização, grande parte deste material é facilmente carreado para os rios, riachos e açudes da região, tendo em vista o regime de concentração das fortes chuvas na primeira quadra do ano hidrológico nordestino. Nos procedimentos de caracterização física e química, foram preparados 24 vasos com a mistura solo-cinza-cal. Em 12 destes vasos, além da mistura solo-cinza-cal, foi feita uma aplicação basal de fertilizantes químicos FTE (FRITZ TRACE ELEMENTS: Mn, Cu, Mo, Fe, Zn e B), na base de Sulfato de Amônio e Superfosfato Triplo, incorporados ao solo. O vegetal utilizado nos experimentos foi o milho (*zea mays* L.). Posteriormente, elas foram secadas em estufa a 56°C, pesadas e encaminhadas ao laboratório, para análises químicas do tecido vegetal. O solo utilizado nos vasos foi submetido a análises de laboratório, para determinação dos teores de Ca, Mg, N, P e K. Na caracterização do tecido vegetal, os teores químicos médios predominantes dos tratamentos estudados apresentaram as seguintes faixas de valores: Ca = 1,0 a 8,5 g/kg; Mg = 0,7 a 2,3 g/kg; N = 6,2 a 25,5 g/kg; P = 0,4 a 1,6 g/kg e K = 18,9 a 59,7 g/kg. Fazendo uma avaliação dos resultados da pesquisa, tendo como base principalmente os experimentos com o cultivo vegetal, verificou-se que a incorporação ao solo do rejeito cinza-cal juntamente com os fertilizantes químicos acima citados, apresentou propriedades que o qualifica como fonte de nutrientes vegetais e corretivo da acidez do solo, desde que esses produtos sejam utilizado nas dosagens tecnicamente adequadas.

¹ Universidade Federal do Ceará - Programa de Pós-graduação em Geologia

² Companhia de Desenvolvimento do Ceará

³ Universidade Federal do Ceará - Programa de Pós-graduação em Agronomia

Autor para correspondência: José Antonio Beltrão Sabadia

Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará

Campus do Pici - Bloco 912, CEP 60455-760. Fortaleza - CE - Brasil. Email: beltrao.sabadia@gmail.com

Recebido em 08 de Julho de 2015 / Aceito em 15 de Dezembro de 2015.

Palavras-chave: Rejeito; Cinza-cal; Zea mays L/Milho; Nutriente Vegetal.

Abstract: *The area chosen to develop the present study is located in the city limits of Sobral and Coreaú (Ceará State, Northeast of Brazil), where there are producer communities working with Lime Stone Fire and pepper trees. A survey was conducted in order to investigate the possibility of the use of the waste generated from this activity, which consists of a mix of charcoal ash and lime stone. The study was directed towards the use of this waste in agriculture as a source of plant nutrients and soil acidity correction. The main interest of this research was to mitigate the environmental damage caused by the accumulation of this waste material around the kilns. There is a strong generation of dust and particulates, rising management costs, and due to its easy mobilization, much of this material is easily taken/adduced into rivers, streams and reservoirs in the region, given the regime concentration of heavy rains in the first block of the hydrological northeastern year. In order to study the plant response to the waste applied in the soil, it was used 24 pots which were prepared by mixing soil-gray limestone with and without mineral fertilizer. In 12 of these pots, with the mixture soil-lime-gray, it was applied a soil basal mineral fertilization by using FTE (FRITZ TRACE ELEMENTS: Mn, Cu, Mo, Fe, Zn and B), ammonium sulfate and triplesuperphosphate. The plant used in the experiments was corn (Zea mays L.). Later, they were harvested, dried at 56°C, weighed and sent to laboratory for chemical analysis of the plant tissue. The soil in the pots were subjected to laboratory analysis in order to determine the levels of Ca, Mg, N, P and K. The characterization of plant tissue revealed the average of the nutrient concentrations prevailing in the treatments. The results showed the following ranges of values: Ca = 1.0 to 8.5g/kg; Mg = 0.7 to 2.3g/kg; N = 6,2 to 25.5g/kg; P = 0.4 to 1.6g/kg and K = 18.9 to 59.7g/kg. Considering the research results, based on the growing plants, it was found that soil incorporation of lime stone and ash waste, plus chemical fertilizer, presented a potential of agricultural use that qualifies it as a useful source of plant nutrients and correction of soil acidity, since these products are used in technically appropriated rates.*

Key Words: Waste; Gray-Lime; Zea mays L/Corn; Plant Nutrient.

1. INTRODUÇÃO

O subsolo cearense é portador de grandes reservas de rochas carbonáticas, cujos jazimentos se encontram distribuído em praticamente todas as regiões do Estado. Estudos realizados pelo Projeto Calcário (1978) desenvolvido pelo Departamento de Minas do Governo do Ceará revelaram reservas estimadas em 11,5 bilhões de toneladas deste bem mineral em todo o Estado. Além desses expressivos volumes, os calcários do Ceará ocorrem em jazimentos que apresentam qualidades químicas e

tecnológicas que satisfazem, por sua vez, toda a sua cadeia produtiva, uma vez que apresentam composições químicas desde o calcítico ao magnésiano/dolomítico.

Embora essas rochas ocorram por todo o Estado, existem regiões que se destacam por apresentarem jazimentos com potencialidades geológicas e econômicas que constituem reserva de extraordinário vulto. Refere-se aqui, às regiões de Sobral/Ibiapaba, Cariri (Bacia do Araripe), Baixo Jaguaribe (Chapada do Apodi), Centro Sul do estado e Região Metropolitana de Fortaleza e suas redondezas.

Vale ressaltar que nos processos de extração e beneficiamento mineral, assim como para outros recursos naturais, faz-se necessário que seja elaborado um planejamento ambiental integrado e contínuo que envolva coleta, organização e análise sistematizada das informações geológicas no sentido de zelar pela preservação do meio ambiente. Isto se dá por meio de procedimentos e métodos, de modo a subsidiar a tomada de decisões ou escolhas acerca das melhores alternativas para o aproveitamento racional dos recursos naturais disponíveis, em função de suas potencialidades. É fundamental também a avaliação acurada e integrada dos impactos ambientais oriundos de ações, manejos e projetos propostos para a área de planejamento da lavra, bem como a intensidade da pressão direta ou indireta que eles impõem sobre o local.

A pesquisa objeto do presente trabalho teve como alvo investigar a possibilidade do aproveitamento racional da mistura cinza-cal, que é um dos componentes dos rejeitos de caieiras e fornos contínuos da produção da cal. A destinação útil desse resíduo tem como objetivo maior a mitigação dos danos ambientais decorrentes da atividade de produção de cal. Nesse sentido, os estudos foram focados na possibilidade do emprego da mistura cinza-cal no cultivo agrícola, através da sua destinação como nutriente vegetal e como corretivo da acidez do solo.

O calcário tem sido muito importante para o desenvolvimento socioeconômico da região (Sobral/Coreaú), com a geração de emprego e renda, através da indústria de cimento Portland e da produção de cal. Vale destacar ainda que, embora existam na região alguns fornos contínuos, na grande maioria a produção de cal é feita em

fornos rudimentares, do tipo caieiras (MACHADO, 2014; MACHADO, 2011).

Os rejeitos da produção da cal causam danos ao meio ambiente, em decorrência da formação do grande acúmulo de entulhos ao redor das caieiras e dos fornos contínuos. Com o acúmulo deste material o andamento dos trabalhos da produção são bem dificultados. Há uma forte geração de poeiras e particulados, elevação dos custos de manejo, e, em função de sua fácil mobilização, grande parte deste material é facilmente carregado para os rios, riachos e açudes da região, tendo em vista o regime de concentração das fortes chuvas na primeira quadra do ano hidrológico nordestino MACHADO *et al.*, (2015).

2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área escolhida para os estudos é uma zona limítrofe entre os municípios de Sobral e Coreaú, que abriga respectivamente as comunidades de Pedra de Fogo e Aroeiras, na região norte do estado do Ceará, Nordeste do Brasil.

Esta região abrange uma faixa disposta ao longo da rodovia CE-364, no trecho entre o distrito de Aprazível (rodovia BR-222, km 253), município de Sobral, e a cidade de Coreaú, com uma extensão de aproximadamente 2 por 11km (Figuras 1 e 2).

O acesso à área, a partir de Fortaleza, pode ser feito pelo menos por duas alternativas rodoviárias. Através da rodovia BR-222, até o distrito de Aprazível (município de Sobral), depois de percorridos 253km, de onde se segue pela rodovia CE-364, por um percurso de mais 8km.

Uma segunda opção poderá ser a de se utilizar inicialmente da BR-222 até a cidade de Umirim (km 92), seguindo-se daí pela rodovia CE-354, passando pela

cidade de Itapipoca e seguindo-se até Sobral, por um percurso de 285km. Em seguida toma-se novamente a BR-222

por mais 26km até Aprazível, e prossegue-se daí o mesmo trajeto final descrito acima.

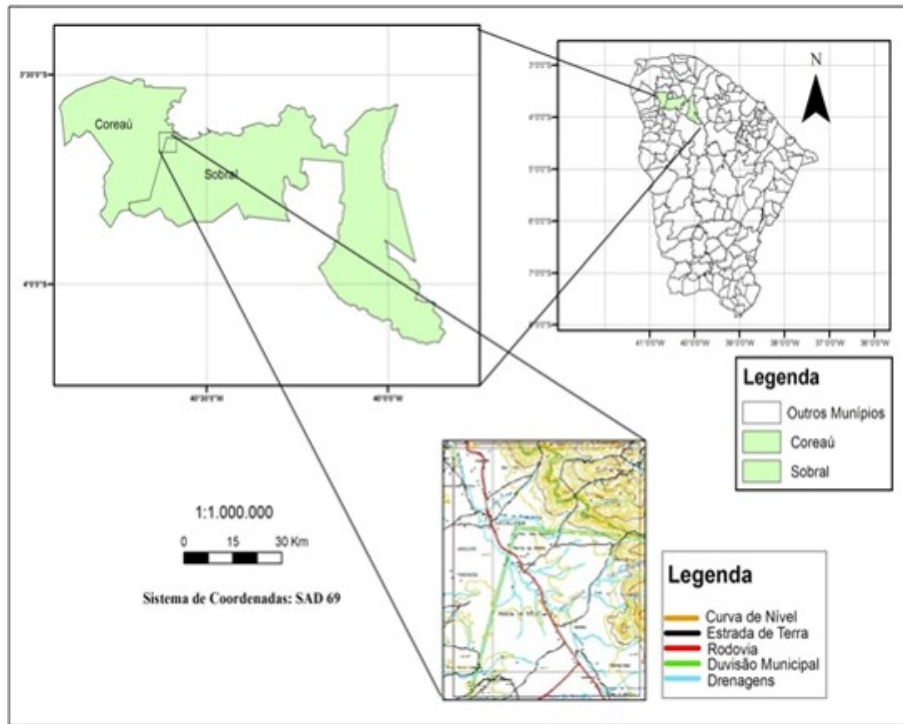


Figura 1 - Mapa de localização da área da pesquisa.

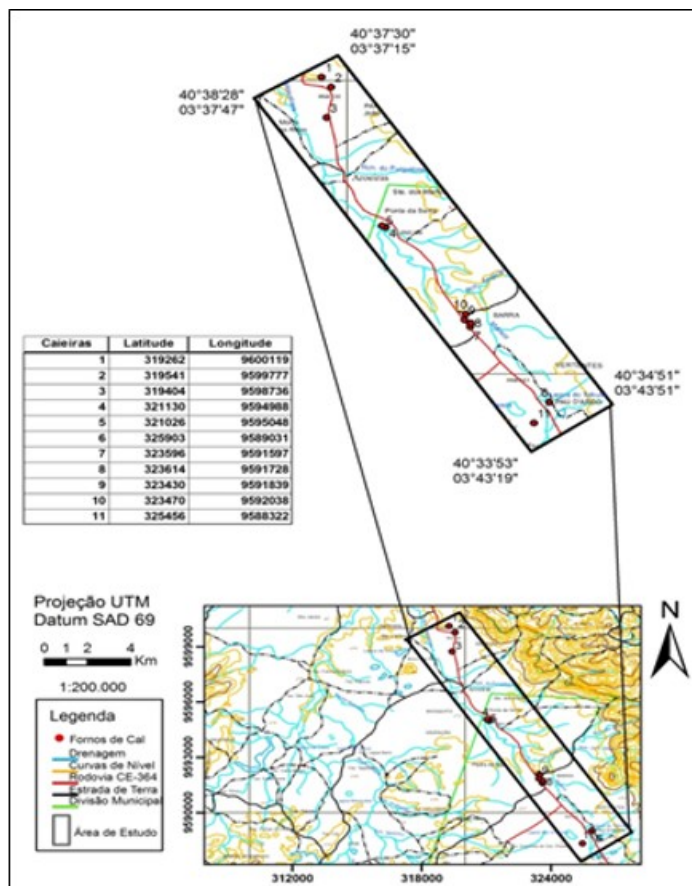


Figura 2 - Mapa de detalhe da área da pesquisa com a localização dos fornos de cal e das caieiras.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo do trabalho foi avaliar a possibilidade do emprego do rejeito cinza-cal como fonte de nutrientes vegetais e corretivos da acidez do solo, visando mitigar danos ambientais advindos da atividade de produção de cal, que são muitos.

Objetivos específicos propostos foram:

- Realizar caracterizações físico-químicas e experimentais do resíduo cinza-cal;
- Através do experimento realizado com o cultivo vegetal, investigar o efeito do resíduo cinza-cal, dos micronutrientes FTE BR-12 (Mn, Cu, Mo, Fe, Zn e B), bem como o efeito interativo (sinérgico) do resíduo com o FTE BR-12 e adubação mineral;
- Desenvolver estudos visando identificar uma dosagem mais adequada do resíduo, de modo que esse produto, ao ser incorporado ao solo, possa ser aproveitado com sucesso no cultivo de plantas, como fonte de nutrientes vegetais e corretivo da acidez do solo; e,
- Incentivar a retirada dos acúmulos do rejeito cinza-cal que se formam ao redor das caieiras e dos fornos de cal contínuos, através do seu aproveitamento racional e econômico, tendo como foco

o zelo pelo meio ambiente, mitigando assim os danos causados pelo processo produtivo.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E JUSTIFICATIVAS

A região norte do estado do Ceará é portadora de importantes e variados tipos de rochas carbonáticas, que vão desde os jazimentos de calcários calcíticos aos de natureza magnesiana. Estes jazimentos encontram-se concentrados nos municípios de Sobral, Coreaú, Frecheirinha, Santa Quitéria e Forquilha. Nestes municípios, muitas famílias vivem da extração de calcário para a produção de cal, predominantemente realizada de forma ainda bastante rudimentar, utilizando-se de fornos do tipo caieira; principalmente (Figura 3).

A exceção dessa forma de produção é a existência de dois fornos contínuos (Figura 4) no município de Coreaú, cada um com capacidade para produzir 20 toneladas de cal hidratada/dia, que proporcionam melhores condições de trabalho, maior produtividade e menor consumo de lenha por tonelada de cal produzida.



Figura 3 - Forno do tipo caieira/rudimentar utilizado na calcinação de calcário. O local é a fazenda Pau d'arco, comunidade de Pedra de Fogo (município de Sobral).



Figura 4 - Forno de cal contínuo localizado em Aroeiras, município de Coreaú.

A atividade de produção de cal se reverte de fundamental importância econômica e social para as comunidades produtoras, por ser uma fonte de emprego e renda. O problema, de importante relevância, está na geração de acúmulo de rejeitos, compostos de uma mistura de pedregulhos de sílica, cal e cinzas (Figura 5).

Esses resíduos, ao longo do tempo vão sendo depositados ao redor das caieiras, formando amontoados que, além

de prejudicar o bom andamento dos trabalhos de produção, em função da geração de particulados e de poeiras e a elevação dos custos de manejo, causam danos ambientais, principalmente pelo carreamento de grande parte deste material para os açudes, rios e riachos da região, em função das chuvas concentradas no primeiro semestre do ano, além, ainda, do agressivo aspecto visual modificador da paisagem natural.



Figura 5. Amontoados de rejeito de caieira, Fazenda Barra, comunidade de Pedra de Fogo, município de Sobral.

Faz-se necessária a realização de estudos no sentido de que seja encontrada uma alternativa para amenizar esses problemas. Ademais, o aproveitamento dos resíduos das caieiras e dos fornos contínuos poderá ser mais uma fonte de renda para os produtores de cal.

4. SÍNTESE GEOLÓGICA

No que tange à geologia da região da área de pesquisa, ela está caracterizada pela sua inclusão na Região de Dobramentos do Médio Coreaú. Esta região corresponde a um Cinturão Orogênico que engloba variada gama de litotipos, de distintas idades e origens, numa mesma unidade tectônica. Esta unidade, juntamente com o Maciço de Granja, ocupa toda a porção do extremo noroeste do estado do Ceará, e está situada ao norte do lineamento Sobral- Pedro II.

O projeto RADAMBRASIL (1981) propôs uma redefinição para as unidades litológicas tidas como pertencentes ao “Grupo Bambuí”, passando a adotar para esta unidade o termo Grupo Ubajara. Assim, sua nova conceituação passa a representar uma associação litológica composta de três unidades litoestratigráficas, constituídas pelas formações Trapiá, Caiçaras e Frecheirinha.

O Mapa Geológico do Ceará (Figura 6), de forma adaptada para a presente pesquisa, originalmente na escala 1:500.000 (CPRM, 2003), mantém a denominação de Grupo Ubajara, adotada pelo Projeto RADAMBRASIL (1981), porém representando-o pelas mesmas unidades litoestratigráficas adotadas pelo Costa *et al.* (1973): Formação Trapiá, Caiçaras, Frecheirinha e Coreaú. Este grupo está situado geocronologicamente no Neoproterozóico (650 a 850Ma.).

A formação Frecheirinha, objeto de estudo desta pesquisa, é constituída por bancos de calcário intensamente cortado por veios de calcita e sílica, exibindo sempre superfícies de dissolução. O calcário apresenta granulação fina, colorações preta, cinza-azulada, cinza-escura e, mais raramente, creme e rósea, bastante impuro, com eventuais intercalações de delgados bancos margosos, metassiltitos e quartzitos finos e escuros.

5. EMBASAMENTO TEÓRICO

Darolt e Osaki (1989), estudando o efeito da cinza de caieira sobre a produção de aveia preta e no comportamento de alguns nutrientes, verificaram que esse material, resultante da queima de lenha, principalmente de bragantina e eucalipto, para produção de cal, tem sido pouco avaliada para uso agrícola. Esses autores consideram que o aproveitamento dessa cinza na agricultura, especialmente nas proximidades das indústrias de cal, seria duplamente benéfico. Primeiro por melhorar a produtividade das culturas e segundo por aproveitar esse subproduto, diante da elevada quantidade produzida. As cinzas possuem, geralmente, em sua constituição teores variáveis de K₂O (1,49 – 5,45%), P₂O₅ (0,59 – 2,0%) e CaO (34,88 – 51,34%) (Mello, 1930).

Compõem-se de substâncias solúveis e insolúveis figurando, entre as primeiras, os carbonatos de potássio e de sódio, sulfatos e fosfatos de potássio; e entre os insolúveis os carbonatos e fosfatos de Ca e Mg, além de óxidos e de Fe e Mn (Dutra, 1920).

Blanco e Zambon (1993) desenvolveram pesquisas sobre o efeito de doses crescentes de cinza vegetal (0,10,15, 20 e 30 t/ha) no cultivo de alface.

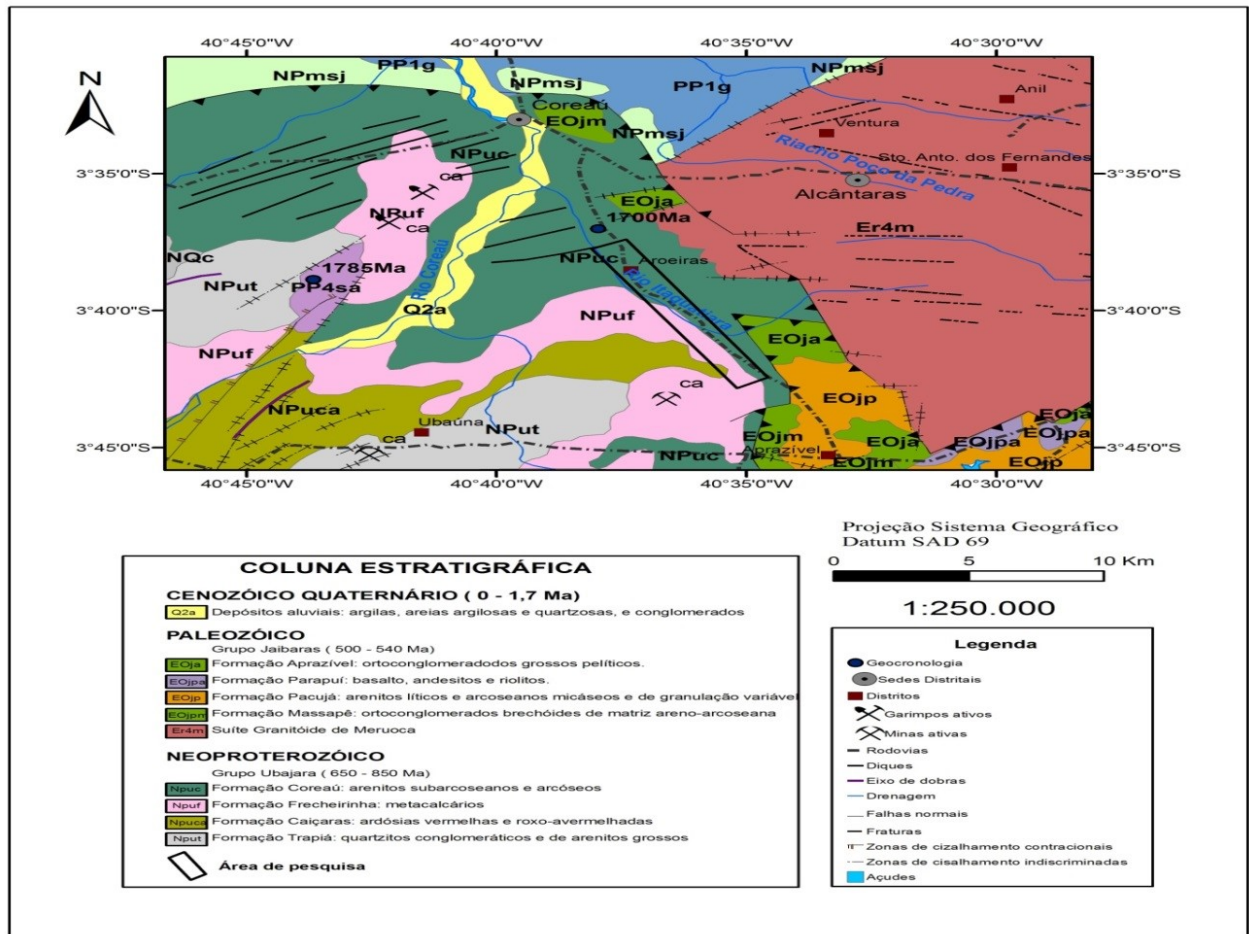


Figura 6 - Mapa geológico da área de pesquisa. Modificado do Mapa Geológico do Estado do Ceará (CPRM, 2003), originalmente realizado na escala 1:500.000.

Segundo essas pesquisas, a adição de cinza vegetal proporcionou aumentos no peso médio e no diâmetro de cabeças e no número médio de folhas por planta. No solo, houve elevação do pH e redução do teor de Al trocável a partir de 10 t/ha. Observou-se também que ocorreu aumentos nos valores de P-extraível, Ca + Mg e K trocáveis. Estes autores, concluíram que é viável a utilização de cinza como corretivo e fonte de nutrientes nas dosagens de 10 a 15 t/ha.

Natale e Prado (2002) definem a fertilidade do solo como sendo a capacidade que o solo apresenta para que as plantas nele cultivadas possam desenvolver-se e produzir colheitas compensadoras, quando os fatores do

ambiente são favoráveis. Essa capacidade do solo está determinada pelas propriedades químicas, físicas e biológicas. Essa capacidade depende também das propriedades biológicas do solo, no que tange à microflora e microfauna benéficas, além das suas propriedades químicas quanto à matéria orgânica e reserva de nutrientes assimiláveis, como N, P, K, Ca, Mg, S e micronutrientes.

Nahass e Severino (2003) consideram de fundamental importância que a agricultura moderna seja voltada ao desenvolvimento sustentável, criando e mantendo a produtividade do solo a longo prazo. Os sistemas agrícolas, de uma maneira geral, empregados no Brasil, já começam a ser questionados,

quando relacionados aos conceitos de sustentabilidade. Portanto, faz-se necessário usar sem deprender, de modo que os recursos naturais, notadamente o solo e a água, possam ser transferidos às gerações futuras, com um legado usufruto, em condições de capacidade produtiva. O uso do calcário no cultivo agrícola, empregando tecnologia apropriada, protege o ambiente, corrige a acidez do solo e supre as plantas com Ca e Mg, principalmente e aumenta a produtividade do cultivo. Vale ressaltar que o excesso de acidez e a deficiência de nutrientes são os principais obstáculos para se alcançar altos rendimentos e produtividades dos solos.

Moraes et al. (2005) realizaram estudos da quantificação e a contribuição dos materiais vegetais de plantas de cobertura, com ênfase nos seus conteúdos de ácidos orgânicos de baixa massa molecular e nutrientes solúveis. Esse estudo teve como foco maior a mobilização, no perfil do solo, dos produtos da dissolução do calcário aplicado em superfície. A solução de sais foi o tratamento mais eficiente para deslocar o Al do solo com as soluções percoladas. Concluiu-se aqui que a adição de materiais vegetais teve pouca influência na mobilização no perfil do solo dos produtos da dissolução do calcário aplicado em superfície.

Velho (2005), em seus estudos, cita que o calcário moído ou em blocos, bem como a cal são utilizados para melhorar a estrutura dos solos ácidos, corrigindo o seu pH, aumentando a atividade biológica, servindo para a mineralização dos restos de plantas.

De acordo com Oliveira et al. (2005), duas considerações importantes devem ser observadas na inserção de um solo no processo produtivo: solos virgens e solos anteriormente cultivados. De um

modo geral, a fertilidade natural dos solos brasileiros disponíveis é baixa e a utilização da calagem constitui um dos primeiros passos na correção da fertilidade das terras agricultáveis. Nestas condições, apresentam alta acidez, baixo pH e quase sempre altas concentrações de alumínio, ferro e manganês, cuja toxidez prejudica o desenvolvimento das plantas. Muitos materiais podem ser utilizados como corretivos da acidez do solo, como a cal, conchas marinhas moídas, cinzas e calcário.

Segundo Feitosa Melo (2006), a presença de cálcio (Ca^{2+}) no solo beneficia as plantas, pois estimula o desenvolvimento das raízes, auxilia a fixação simbiótica do nitrogênio, evita o abortamento das flores e aumenta a resistência às pragas e moléstias. O magnésio (Mg^{2+}) é parte essencial da molécula clorofila, promove a formação de açúcares e lipídeos e auxilia a absorção de outros nutrientes. Este autor acrescentou que as cinzas resultantes da queima de material vegetal (lenha) fornecem consideráveis quantidades de potássio (K^+), um dos principais fertilizantes do solo.

Holzschuh et al. (2007) desenvolveram um estudo sobre o efeito dos calcários calcítico e dolomítico no rendimento de soja e aveia preta, aplicados na superfície do solo, e bem como incorporados a ele. Esta pesquisa revelou que a taxa de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas está diretamente relacionada com a concentração destes nutrientes na solução aplicada ao solo. Entretanto, a disponibilidade dos nutrientes não está relacionada apenas à concentração, mas também, com as espécies iônicas. Tais relações são denominadas interações iônicas. Estas interações são determinadas por características físico-

químicas similares entre os elementos químicos, o que normalmente ocorre com os íons Ca^{+2} e Mg^{+2} .

Fato este que sugere que a presença de um destes elementos possa influenciar na absorção do outro. O fornecimento de Ca e de Mg para as culturas normalmente é feito através da calagem, oportunidade em que quantidades significativas destes cátions são adicionadas ao solo, elevando consideravelmente seus teores. Neste caso, sugere-se que devam ser ajustadas relações ideais entre o Ca e o Mg no solo para assegurar as plantas uma adequada disponibilidade destes cátions e, conseqüentemente, a absorção não seja por elas afetada.

Sena *et al.* (2009) considerando a importância da produção de mudas para o cultivo vegetal, realizaram pesquisa com o objetivo de avaliar as respostas da planta angelim-pedra, à aplicação de calcário como corretivo do solo. Esta pesquisa visou também identificar os teores de Ca e Mg que venham a ser mais adequados no desenvolvimento das plantas. Os resultados desses estudos revelaram que o uso do calcário magnesiano e a aplicação de Ca e Mg na relação de 9:1, oriundos de fontes não corretivas da acidez, são os tratamentos mais indicados para a produção de mudas de angelim-pedra, por promoverem maior crescimento e maior absorção de nutrientes.

De acordo com Oliver (2009), a classificação constante na Portaria SEFIS nº3, de 12/06/1986, os calcários são divididos, quanto à concentração de óxido de magnésio (MgO), nas seguintes categorias:

- Calcário calcítico: menos de 5% de MgO
- Calcário magnesiano: de 5 a 12% de MgO
- Calcário dolomítico: acima de 12% de MgO .

Basicamente, a transformação de um calcário em cal decorre de reações químicas desencadeadas pelo processo de calcinação. O carbonato de cálcio, submetido à ação do calor à temperatura aproximada de 900°C , decompõe-se em óxidos de cálcio e anidridos carbônicos.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Coleta e análises dos materiais

Durante a execução das pesquisas foram efetuados trabalhos de campo, tais como contatos com os produtores de cal e levantamento do volume dos acúmulos de rejeito cinza-cal, formados ao redor dos fornos de calcinação de calcário. Concomitantemente a estes trabalhos, foi efetuada coleta de 11 amostras do rejeito de caieira em referência, pesando cada uma cerca de 1kg. Nesta oportunidade também foi coletada uma amostra de Argissolo Vermelho-Amarelo, representativo da região da área de pesquisa, pesando aproximadamente 150kg.

O resíduo cinza-cal é resultante de duas fontes: a cinza originada da queima da madeira oriunda das espécies vegetais típicas da caatinga tais como: jurema preta, sabiá, pau branco e marmeleiro, utilizadas no processo de calcinação do calcário; e a cal que é produto da calcinação do calcário da Formação Frecheirinha, do Grupo Ubajara.

A coleta destes materiais visou a preparação dos vasos para realização do experimento com cultivo de plantas. Inicialmente, no intuito de determinar as suas características físicoquímicas, uma amostra do solo e outra do rejeito cinza-cal foram coletadas e remetidas ao Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias da UFC, para análises.

Complementando os estudos da pesquisa, também uma amostra da água utilizada para irrigar as plantas do

experimento foi previamente analisada, no laboratório da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC.

Visando caracterizar qualitativamente todo o universo do rejeito cinza-cal acumulado nas frentes de produção, as amostras foram coletadas de modo a contemplar e representar o rejeito de cada caieira e o do forno contínuo comunitário. Com esse intuito, as amostras foram misturadas, umas com as outras, formando uma só amostra, de aproximadamente 11kg, bem homogênea, de forma a representar um todo do material em estudo. Desta amostra foram retiradas frações para serem incorporadas a porções do solo, coletado na região da área de pesquisa.

6.2 Delineamento experimental

Dando continuidade aos trabalhos de pesquisa, em seguida foram preparados 24 vasos com solo contendo misturas de variadas dosagens de cinza-cal, cada um pesando ao todo 4kg. No experimento foram utilizados vasos plásticos transparentes. Os 24 vasos compuseram oito tratamentos da pesquisa (A, B, C, D, E, F, G e H). E cada tratamento com três repetições. Os tratamentos foram preparados com igual teor de cinza-cal incorporado ao solo, nas quantidades de 0 (zero), 40, 80 e 120g. Porém, a quatro destes tratamentos (B,D,F,H) foi aplicada uma adubação suplementar, utilizando-se FTE BR-12 como fonte de micronutrientes (Mn, Cu, Fe, Zn, Mo e B), com o intuito de investigar a sua influência no desenvolvimento das plantas, em associação com os efeitos da cinza-cal. Aqui também foi aplicada uma adubação basal nas formas de Sulfato de Amônio (2,5g/vaso) e Superfosfato Triplo (1,4g/vaso), incorporados ao solo, que compuseram esses quatro tratamentos,

em cada um dos doze vasos. Após a incorporação do resíduo, o solo de cada vaso foi umedecido com 350ml de água e em seguida foram plantadas oito sementes de milho a 2cm de profundidade. Posteriormente, foi adicionado mais 150ml de água, alcançando assim, cada vaso, um peso de 4,5kg.

O experimento em vaso constou dos seguintes tratamentos com três repetições, conforme apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Tratamento do experimento com cultivo vegetal.

Tratamento	Cinza-cal (g)	Adubação mineral (g)
A	0	0
B	0	2
C	40	0
D	40	2
E	80	0
F	80	2
G	120	0
H	120	2

6.3 Condução do experimento

Para a realização do experimento de cultivo do milho, foi utilizada a casa de vegetação do Departamento de Bioquímica da UFC, localizada no Campus do Pici. Estes procedimentos tiveram como objetivo verificar, na prática, o efeito do rejeito de caieira, com e sem adição de adubação de macro e micronutrientes (FTE BR-12) no crescimento das plantas, desde a germinação das sementes até um período de 45 dias. Inicialmente, passados cinco dias de nascidas, as plantas foram desbastadas, de modo a deixar em cada vaso apenas as três plantas de milho mais vigorosas. A irrigação das plantas foi efetuada tendo-se o cuidado de conservar o solo sempre com o mesmo teor de umidade, através do controle de pesagem dos vasos, mantendo-os sempre com o peso de 4,5kg. Além destes cuidados, as

plantas foram diariamente observadas, quanto ao seu crescimento, desde o seu nascimento até o período final de 45 dias. Estas observações foram registradas através de anotações e documentação fotográfica.

Feito o desbaste das plantas, após cinco dias de nascidas, procedeu-se uma nova aplicação desses fertilizantes, nas mesmas dosagens anteriormente referidas (2g de FTE BR – 12; 2,5g de Sulfato de Amônio e 1,4g de Superfosfato Triplo), desta feita em volume de 20ml. Este procedimento foi efetuado adicionando-se água, até o vaso atingir o seu peso original, de 4,5kg. Passados mais 25 dias, essa adubação foi repetida, mantendo-se as mesmas dosagens e a mesma umidade do solo, até o final do período de 45 dias.

Ao término do cultivo, as plantas de cada um dos 24 vasos foram cortadas ao nível da superfície do solo e pesadas separadamente. Posteriormente, as plantas foram colocadas em uma estufa para secagem à temperatura de 56°C, durante cinco dias. Após passarem por esse processo de secagem, as plantas foram pesadas novamente e encaminhadas para análises químicas, no Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias do Departamento de Ciências do Solo da UFC, que funciona em convênio com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – Funceme. As análises acima referidas foram realizadas para determinação das características químicas quanto aos teores de Ca, Mg, N, P e K do tecido vegetal das plantas, utilizando os métodos descritos em Malavolta *et al.* (1997).

Vale destacar que no mesmo laboratório do Centro de Ciências Agrárias da UFC, anteriormente referido também foram efetuadas análises

químicas de amostras do solo de cada um dos 24 vasos usado no experimento. Nessas análises foram identificados o pH, condutividade elétrica (CE), teores de N (g/kg), P (mg/kg), Ca²⁺ (cmolc/kg), Mg²⁺ (cmolc/kg) e K⁺ (cmol/kg) do solo. Para realização destas análises empregou-se a metodologia do Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (1997).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância mediante significância do teste F e, quando significativos, realizaram-se análises de regressão. As análises de variância e de regressão foram feitas com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT versão 7.6 beta (2011).

Com o intuito de retratar o volume do rejeito de caieira constituído de cinza e cal, nos meses de julho a dezembro de 2009 e janeiro a junho de 2010, primeiramente fez-se um levantamento junto aos produtores de cal quanto ao volume de cal produzido mensalmente dentro dos limites da área de pesquisa. Este levantamento revelou que na área existem nove caieiras em funcionamento, cada uma produzindo em média 3.500 sacos de cal hidratada por fornada, cada saco pesando cerca de 15kg, representando, assim, por fornada, 52,5t. Cada caieira produz entre duas e quatro fornadas/mês, dependendo da demanda comercial de cada produtor.

Além dessas caieiras, na área existe também um forno contínuo, que produz diariamente 20t, ou 600t/mês de cal hidratada. Contabilizando-se as produções das nove caieiras e do forno contínuo, tem-se um montante de 1.950t/mês. Isto representa uma produção anual de 23.400t/ano.

Na oportunidade dos levantamentos de campo, tendo como base o volume de cal produzido, fez-se uma estimativa do aporte mensal do

acúmulo do rejeito cinza-cal ao redor das caieiras e do forno contínuo comunitário de Aroeiras. Esta avaliação estimada de volume do rejeito foi feita através de observação in loco, bem como por meio de entrevistas com os produtores de cal. Desta forma, chegou-se à conclusão de que a cada fornada ou caieirada de 52,5t de cal hidratada, resulta na geração de 350kg do resíduo cinza-cal, oriundo da

queima da lenha e limpeza da fornalha de calcinação do calcário. Conforme acima citado, a produção mensal de cal é de 1.950t, o que representa cerca de 37,0 fornadas/mês de 52,5t de cal, o que permite concluir-se que a produção mensal do resíduo é de 12.950kg/mês ou 155.400kg/ano, uma vez que cada fornada dessas produz 350kg de cinza misturada com cal (Quadro 2).

Quadro 2 - Localização das caieiras e volume mensal de produção de cal.

Nº de ordem	Local	Coordenadas em UTM	Unidade produtiva	Produção de cal/mês (t)
01	Vila Basílio/Coreaú	0319262 9600119	Chico Isaias	90
02	Forno contínuo /Coreaú	0319541 9599777	Forno comunitário	600
03	São Raimundo/ Coreaú	0319404 9598736	Isauro	210
04	Ponta da Serra/ Sobral	0321130 9594988	Nem I	157,5
05	Ponta da Serra/ Sobral	0321026 9595048	Nem II	157,5
06	Pedra de Fogo / Sobral	0325903 9589031	Debalde	paralisada temporariamente
07	Pedra de Fogo/ Sobral	0323596 9591597	Raimundo Ximenes	105
08	Pedra de Fogo/ Sobral	0323614 9591728	Zé Gerardo	157,5
09	Pedra de Fogo/ Sobral	0323430 9591839	Roberto	210
10	Pau d'Arco/ Sobral	0323470 9592038	Francion	105
11	Pau d'Arco/ Sobral	0325456 9588322	Elivar	157,5
TOTAL				1.950t/mês

Um levantamento realizado na área de pesquisa revelou que nos seus domínios há nove caieiras em funcionamento, cada uma produzindo em média 52,5t de cal hidratada por fornada. Cada caieira produz em média entre duas e quatro fornadas/mês, dependendo da demanda comercial de cada produtor.

Além dessas caieiras, na área existe também um forno contínuo, que

produz diariamente 20t, ou seja, 600t/mês de cal hidratada. Contabilizando-se as produções das nove caieiras e do forno contínuo, tem-se um montante de 1.950t de cal por mês (Quadro 2). Isto representa uma cifra anual média de 23.400t de cal hidratada. A matéria-prima empregada na produção de cal é o calcário da formação Frecheirinha; como já comentado anteriormente no texto.

De acordo com a classificação constante na Portaria SEFIS nº3, de 12/06/1986 (OLIVER, 2009), o calcário Frecheirinha, utilizado como matéria-prima na produção de cal na área de pesquisa em referência, é caracterizado como calcítico, conforme o teor médio de MgO (1,99%) anteriormente citado, por ser este teor inferior a 5%.

Através do levantamento do volume de cal produzido, foi possível fazer-se uma estimativa do volume de rejeito gerado pela indústria de cal. Diante dos resultados deste estudo, chegou-se à conclusão de que a geração de rejeito, composto de cal, pedregulhos e cinzas, resultante do processo de peneiramento da cal hidratada, na peneira de 20mm de malha, é da ordem de 20% sobre a produção de cal bruta (antes de ser peneirada). Desta forma, concluiu-se que o aporte mensal desse resíduo é de

390t/mês, o que representa um montante de 4.680t/ano.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos estudos, tanto de laboratório quanto dos experimentos com cultivo vegetal permitiram concluir que os tratamentos cinza-cal e adubação mineral (FTE BR-12; Sulfato de amônio e Superfosfato Triplo) nas quantidades testadas, influenciaram significativamente no desenvolvimento das plantas.

As análises das amostras do solo, sem a aplicação da mistura cinza-cal, e do resíduo cinza-cal revelaram as seguintes propriedades físicoquímicas, mostradas nas Tabelas 1 e 2.

A interpretação dos resultados destas análises foi procedida de acordo com (PRADO, 2003; *in* FEITOSA MELO, 2006 e, EMBRAPA, 1997).

Tabela 1 - Resultados da análise do solo (Argissolo Vermelho – Amarelo) antes da aplicação do resíduo cinza-cal e de fertilizantes.

Elemento/Parâmetro Químico	Teores no Solo (Propriedade)
Ca ²⁺ (Cmol _c /kg solo)	5,30
Mg ²⁺ (Cmol _c /kg solo)	1,70
Na ⁺ (Cmol _c /kg solo)	0,03
K ⁺ (Cmol _c /kg solo)	0,13
H ⁺ + Al ³⁺ (Cmol _c /kg solo)	2,14
Al ³⁺ (Cmol _c / kg solo)	0,10
S (Cmol _c /kg solo)	7,2
T (Cmol _c /kg solo)	9,3
V (%)	77
M (%)	1
PST (%)	1
C (g/kg solo)	5,46
N (g/kg solo)	0,51
C/N	11
MO (g/kg solo)	9,41
P Assimilável (mg/kg solo)	6
pH (g/100g)	6,1

Tabela 2 - Resultados da análise do rejeito cinza-cal.

Elemento/Parâmetro Químico	Propriedade do Rejeito Cinza-Cal
Ca ²⁺ (Cmol _C /kg solo)	99,5
Mg ²⁺ (Cmol _C /kg solo)	4,8
Na ⁺ (Cmol _C /kg solo)	1,13
K ⁺ (Cmol _C /kg solo)	19,02
H ⁺ + Al ³⁺ (Cmol _C /kg solo)	Zero
Al ³⁺ (Cmol _C /kg solo)	Zero
S (Cmol _C /kg solo)	124,5
T (Cmol _C /kg solo)	125,5
V (%)	100
M (%)	Zero
PST (%)	1
C (g/kg solo)	12,24
N (g/kg solo)	1,29
C/N	9
M O (g/kg solo)	21,1
P Assimilável (mg/kg solo)	1
pH (g/100g)	12,9

7.1 Características químicas do solo e do resíduo cinza-cal

7.1.1 *Macronutrientes: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K⁺), Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺) e Enxofre (S).*

Os macronutrientes correspondem aos elementos químicos necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas. A análise físico-química do solo e do resíduo cinza-cal em estudo, os macronutrientes Ca, Mg, K e P foram apresentados em Cmolc/kg (centimol de carga por quilograma, ou seja, a centésima parte da carga do nutriente em 1kg ou 1000g = g/1000g), conforme resultados apresentados do solo (Tabela 1) e resíduo cinza-cal (Tabela 2).

7.1.2 *Potencial de acidez (H⁺ + Al³⁺)*

Trata-se da soma do H⁺ com o elemento Al³⁺, que é altamente indesejável aos solos agrícolas. Serve para o cálculo da capacidade de troca catiônica (T). A análise química do solo (Tabela 1) apresentou um valor para este parâmetro de 2,14Cmolc/kg solo e para a análise química do resíduo cinza-cal zero Cmolc/kg solo (Tabela 2).

7.1.3 *Alumínio trocável (Al³⁺)*

O alumínio trocável (Al³⁺) expressa a percentagem de cargas negativas do solo próximo ao pH natural que está ocupada por alumínio trocável, pois este estando presente em alto teor no solo é altamente nocivo à maioria das culturas

(EMBRAPA, 1997 in FEITOSA MELO, 2006). Na análise química do solo (Tabela 1) consta para este parâmetro o valor de 0,1 Cmol_c/kg solo e para o resíduo cinza-cal (Tabela 2) este resultado é nulo.

7.1.4 Capacidade de troca catiônica (T)

A capacidade de troca catiônica (T) representa a quantidade de cátions metálicos trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, H⁺ e Al³⁺) que o solo pode fixar (FEITOSA MELO, 2006). Os resultados das análises do solo utilizado no experimento conforme (Tabela 1) consta o valor de 9,3Cmol_c/kg solo e para o resíduo cinza-cal (Tabela 2) para este parâmetro apresentou um resultado de 124,5Cmol_c/kg solo.

7.1.6 Saturação de bases (V)

A saturação de bases (V) indica o grau de lixiviação de um perfil de solo. Quanto menor o teor de V, maior será o poder de lixiviação, necessitando assim de correção do solo através de calagem. Serve na orientação da vocação do solo com relação às culturas (PRADO, 2003 in FEITOSA MELO, 2006). A análise química do solo revelou um valor de 77% (Tabela 1) e para o resíduo cinza-cal um valor de 100% (Tabela 2).

7.1.7 Percentagem de sódio trocável (PST)

A percentagem de sódio trocável (PST) é determinada em relação à capacidade de troca de cátions do solo. (UFC, 1993 in FEITOSA MELO, 2006). A análise química do solo (Tabela 1) apresentou um valor de PST = 1% também o mesmo valor para o resíduo cinza-cal (Tabela 2). Isto significa que estão dentro dos padrões normais para o cultivo.

7.1.8 Relação C/N

Trata-se da relação dos elementos Carbono e Nitrogênio. A matéria orgânica possui moléculas de elevado peso molecular, contendo carbono (C) e nitrogênio (N), elementos que normalmente não ocorrem nas rochas. A relação C/N é importante para se conhecer o estado de decomposição da matéria orgânica. (FEITOSA MELO, 2006). O resultado da análise química do solo (Tabela 1) mostrou para este parâmetro um valor igual a 11 e para o resíduo cinza-cal (Tabela 2) um valor de 9.

7.1.9 Matéria orgânica (MO)

O teor de matéria orgânica fornece informações mais importantes do ponto de vista qualitativo do que quantitativo. Saber se o solo é rico ou pobre em MO permite diagnosticar várias características que auxiliarão na orientação de recomendações mais adequadas para o manejo físico e químico do solo. Segundo Prado (2003 in FEITOSA MELO, 2006) em solos cultivados é importante que esse teor seja mantido pelo menos em torno de 1,5%. O resultado inicial da análise do solo do experimento apresentou 9,41g/kg solo de MO (Tabela 1) e para a análise química do resíduo cinza-cal um valor de 21,10g/kg solo (Tabela 2).

7.1.10 Potencial de hidrogênio (pH)

O potencial de hidrogênio (pH) fornece o grau de acidez ou alcalinidade de um extrato aquoso do solo. É adimensional e trata-se de um indicativo das condições gerais de fertilidade do solo. A faixa de pH ideal para o cultivo situa-se entre 5,5 a 6,5 (UFC, 1993 in FEITOSA MELO, 2006). Observando-se os resultados das análises do solo (Tabela 1) apresentou potencial de

hidrogênio pH 6,1 (g/100g) e os resultados de 12,9 (g/100g) para o resíduo cinza-cal (Tabela 2).

7.2 Características físicoquímicas da água

A amostra da água utilizada para irrigar as plantas do experimento também

foi analisada, no laboratório da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC. Esta análise teve como objetivo a determinação das propriedades físicoquímicas da água. Os resultados desta análise estão ilustrados nos gráficos apresentados a seguir, nas figuras 7, 8 e 9.

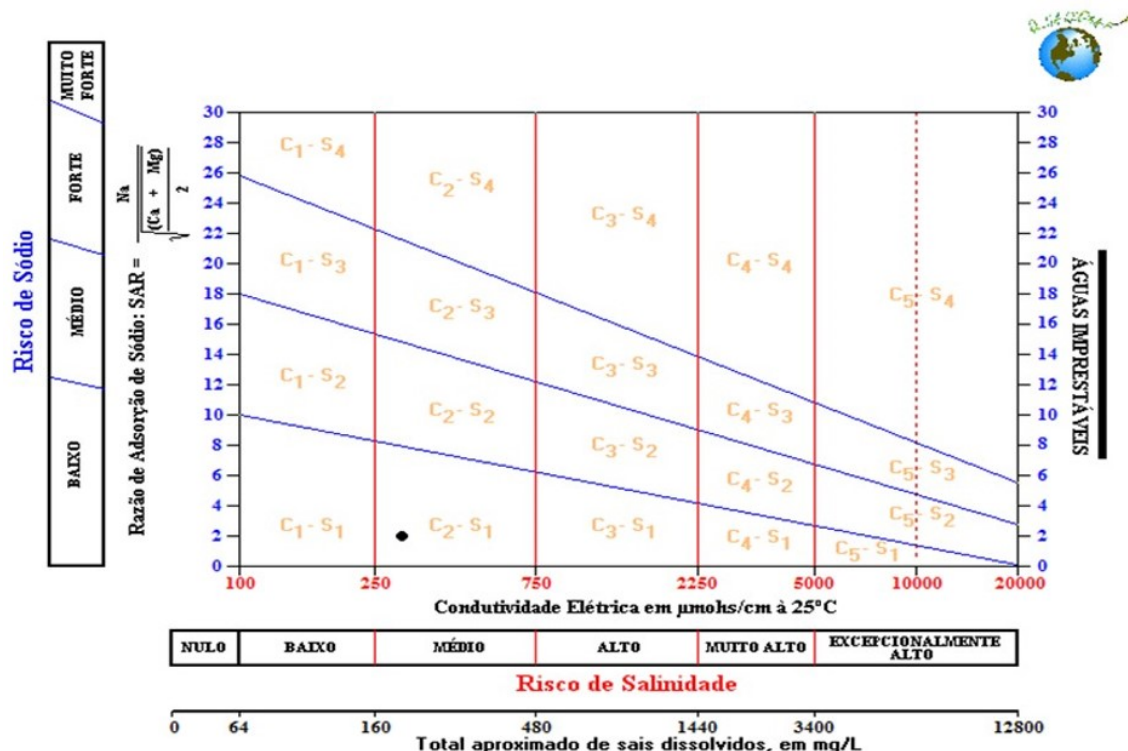


Figura 7 - Gráfico ilustrativo da classificação da água utilizada na irrigação do experimento (Risco de Sódio X Risco de Salinidade). Classe C2-S1. C2: CEa (dS.m-1): 0,7-3; Problema de Salinidade: Grau Moderado. C2 - Água de salinidade média, com conteúdo de sais entre 250 e 750 µS/cm: pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. S1 - Água com baixo teor de sódio: pode ser usada para irrigação em quase todos os solos, com pouco perigo de desenvolvimento de problemas de sodificação.

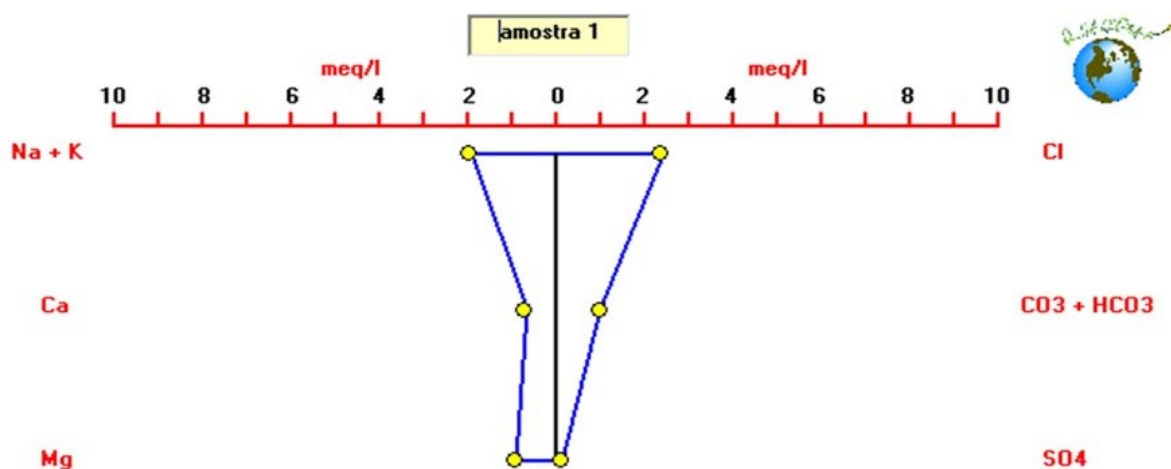


Figura 8 - Balanço Iônico da água utilizada na irrigação nos experimentos.

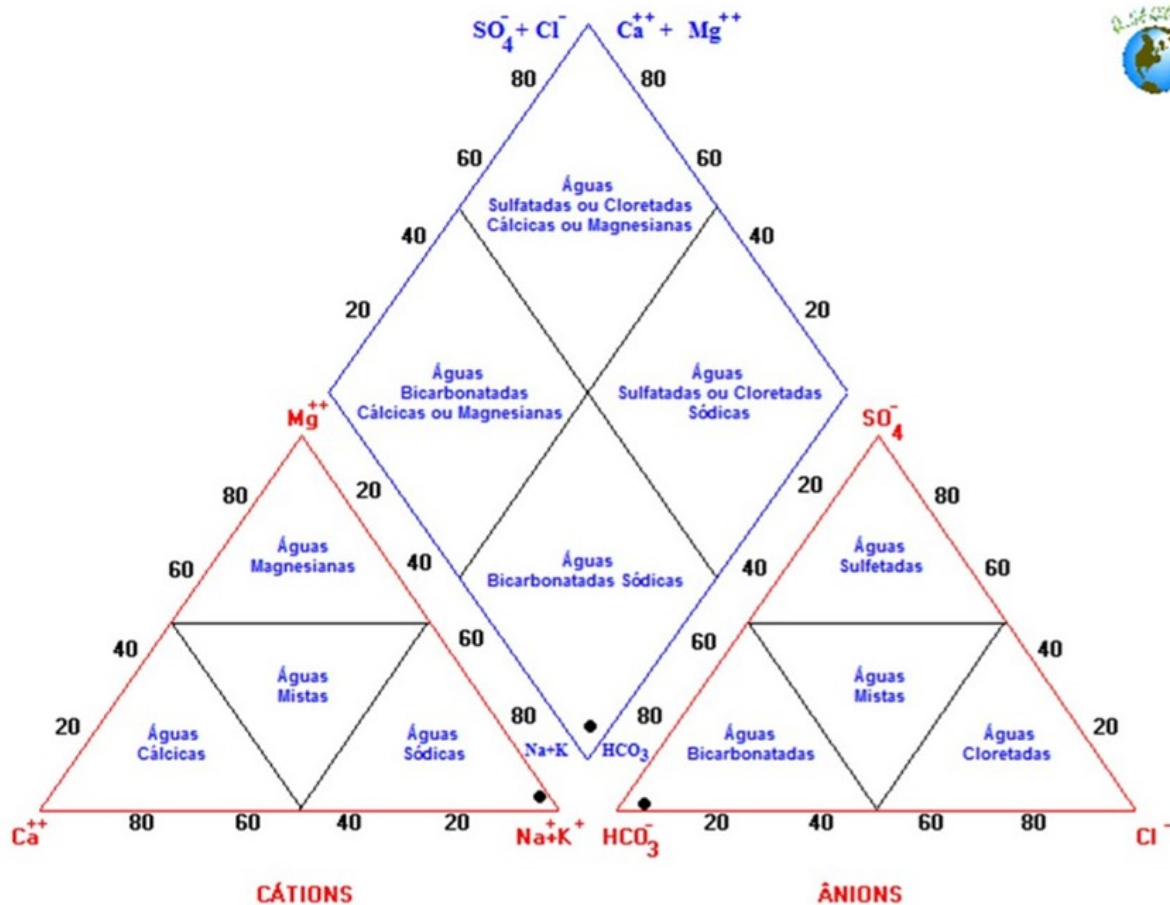


Figura 9 - Diagrama de Piper definindo a classificação iônica da água utilizada para irrigação no experimento. Água bicarbonatada sódica.

7.3 Produção da matéria verde (MV)

No que se refere ao parâmetro peso da matéria verde (MV) das plantas cultivadas no experimento, os resultados obtidos encontram-se relacionados na Tabela 3.

A mistura do rejeito cinza-cal com a adubação mineral influenciou no aumento do peso(g) das plantas (MV). Na Tabela 4 é apresentada uma análise dos resultados do experimento inteiramente casualizado a qual foi complementada com a análise de regressão apresentada nas figuras 10 e 11).

O resultado da avaliação do peso (g) da matéria verde (MV) das plantas cultivadas no experimento apresentou um resultado significativo ao nível de 1% de probabilidade no teste de "f".

Foi realizada a análise de regressão na aplicação dos tratamentos com cinza (g) conforme apresentado na Figura 10 e, com o tratamento cinza (g) + adubação mineral (Figura 11). Observa-se que com o aumento das doses até o nível de 40g de cinza e 80g de cinza + adubação mineral, os pesos das plantas aumentaram; em doses superiores a esta, as plantas apresentaram menor peso, relacionado, possivelmente, ao excesso da dosagem aplicada em maior quantidade.

Tabela 3 - Peso (g) da matéria verde (MV) e da matéria seca (MS) das plantas cultivadas no experimento.

TRATAMENTO	Dosagens de cinza-cal e ou /FTE BR – 12 Sulfato de Amônio e Superfosfato Tríplo incorporadas ao solo.	Peso antes da secagem MV (g)	Peso após a secagem MS (g)
A Testemunha	AM1 = 0g de cinza + 0g FTE BR-12	21,76	15,8
	AM2 = 0g de cinza + 0g FTE BR-12	17,59	16,04
	AM3 = 0g de cinza + 0g FTE BR-12	37,71	14,85
B Efeito do FTE BR-12	AM1 = 0g de cinza + Adubação mineral	37,71	21,88
	AM2 = 0g de cinza + Adubação mineral	31,15	26,01
	AM3 = 0g de cinza + Adubação mineral	31,04	24,93
TRATAMENTO	Dosagens de cinza-cal e ou /FTE BR – 12 Sulfato de Amônio e Superfosfato Tríplo incorporadas ao solo.	Peso antes da secagem MV (g)	Peso após a secagem MS (g)
C Efeito da cinza	AM1 = 40g de cinza	35,05	26,35
	AM2 = 40g de cinza	38,26	27,4
	AM3 = 40g de cinza	37,92	25,86
D Efeito do FTE BR-12	AM1 = 40g de cinza + Adubação mineral	35,64	26,95
	AM2 = 40g de cinza + Adubação mineral	33,71	21,44
	AM3 = 40g de cinza + Adubação mineral	34,13	22,49
E Efeito da cinza	AM1 = 80g de cinza	36,02	27,42
	AM2 = 80g de cinza	26,27	25,55
	AM3 = 80g de cinza	39,17	24,86
F Efeito do FTE BR-12	AM1 = 80g de cinza + Adubação mineral	50,53	39,81
	AM2 = 80g de cinza + Adubação mineral	58,4	39,35
	AM3 = 80g de cinza + Adubação mineral	52,26	39,39
G Efeito da cinza	AM1 = 120g de cinza	24,5	15,17
	AM2 = 120g de cinza	25,11	14,38
	AM3 = 120 g de cinza	22,52	15,02
H Efeito do FTE BR-12	AM1 = 120g de cinza + Adubação mineral	45,25	37,52
	AM2 = 120g de cinza + Adubação mineral	45,14	36,59
	AM3 = 120g de cinza + Adubação mineral	39,46	29,05

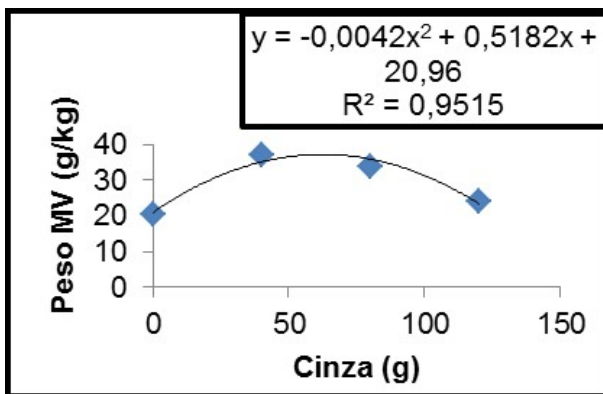


Figura 10 - Ilustração gráfica da resposta do peso MVg/kg do milho às aplicações de cinza (g) no solo dos vasos do experimento.

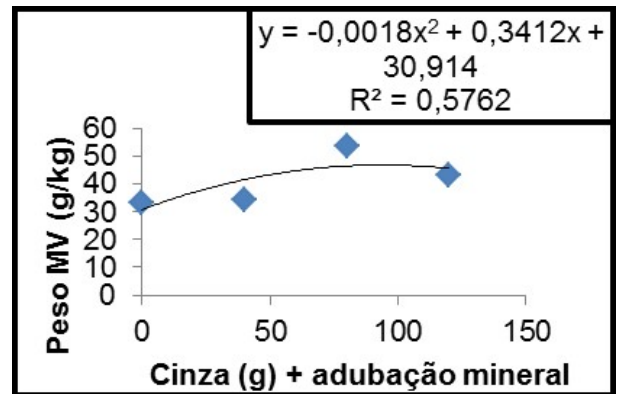


Figura 11 - Ilustração gráfica da resposta do peso MVg/kg do milho às aplicações de cinza (g) + adubação mineral no solo.

Tabela 4 - Análise do experimento inteiramente casualizado (MV).

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	7	2294.72063	327.81723	26.4040**
Resíduo	16	198.64693	12.41543	
Total	23	2493.36756		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$)
* Significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$)
ns não significativo ($p \geq 0.05$)

G.L.	GLR	F- crítico	F	p
7	16	40.259	26.404	< 0.001

Médias de tratamento	
1	20.28333
2	33.30000
3	37.07667
4	34.49333
5	33.82000
6	53.73000
7	24.04333
8	43.28333

DMS = 9.96819	
MG = 35.00375	CV% = 10.06622

Abreviações: F.V = Fonte de Variação; C.V = Coeficiente de Variação %; DMS = Diferença Mínima Significativa; M.G = Médi Geral; G.L = Grau de Liberdade; S.Q = Some de Quadrado; Q.M = Quadrado Médio e F = Estatística do Teste F.

7.4 Produção de matéria seca (MS)

No tocante ao parâmetro peso da matéria seca (MS) das plantas cultivadas no experimento com milho, os resultados obtidos encontram-se relacionados na Tabela 3 já citada anteriormente.

Devido ter sido comparado com mais de dois tratamentos, foi necessário aplicar um teste de comparação da média dos tratamentos, para que fosse possível concluir qual o melhor deles, possibilitando fazer uma comparação da média dos tratamentos (Tabela 5), complementando com o estudo da análise de regressão da (MS).

Tendo apresentado um resultado significativo no teste de “f” foi realizado uma análise de regressão da aplicação dos tratamentos com cinza (g) conforme apresentado na Figura 12 e, com o tratamento cinza (g) + adubação mineral (Figura 13). Observou-se que com o aumento das doses até o nível de 40g de cinza e 80g cinza + adubação mineral, os pesos das plantas aumentaram; em doses superiores a esta, as plantas apresentaram menor peso, relacionado, possivelmente, ao excesso da dosagem aplicada (maior quantidade).

Tabela 5 - Análise do experimento inteiramente casualizado (MS).

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	7	1481.04346	211.57764	44.8574**
Resíduo	16	75.46673	4.71667	
Total	23	2493.36756		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0.01$)
* Significativo ao nível de 5 % de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$)
ns não significativo ($p \geq 0.05$)

G.L.	GLR	F- crítico	F	p
7	16	4.0259	44.8574	< 0.001

Médias de tratamento	
1	15.56333
2	24.27333
3	26.53667
4	23.62667
5	25.94333
6	39.51667
7	14.85667
8	34.38667

DMS = 6.14403

MG = 25.58792	CV% = 8.48756
---------------	---------------

Abreviações: F.V = Fonte de Variação; C.V = Coeficiente de Variação %; DMS = Diferença Mínima Significativa; M.G = Médi Geral; G.L = Grau de Liberdade; S.Q = Some de Quadrado; Q.M = Quadrado Médio e F = Estatística do Teste F.

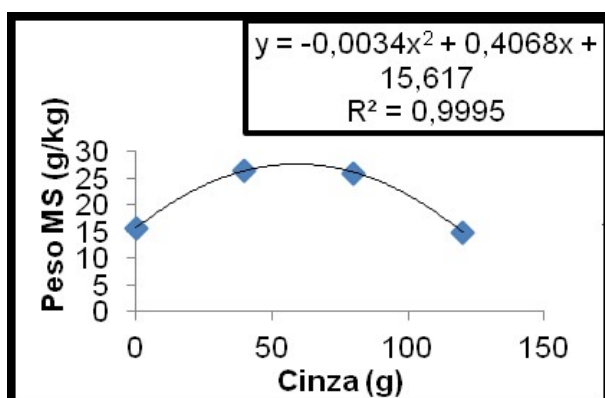


Figura 12 - Ilustração gráfica da resposta do peso da MS (g/kg) do milho às aplicações de cinza (g) no solo dos vasos do experimento.

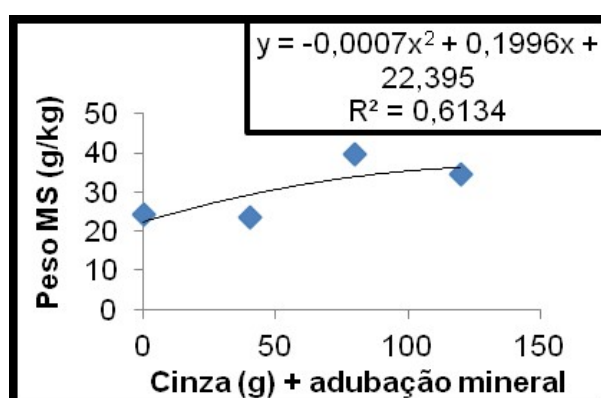


Figura 13 - Ilustração gráfica da resposta da MS (g/kg) do milho às aplicações de cinza (g) + adubação mineral no solo dos vasos do experimento.

7.5 Efeitos sobre a fertilidade do solo

Os teores médios de macronutrientes do solo (Tabela 6) usado no experimento em vaso, conforme as dosagens de cinza (g) aplicadas, apresentaram significância em relação aos elementos P, Ca, Mg e K (Figuras 14, 15, 18 e 19) e nas aplicações de cinza (g) + adubação mineral (Figuras 16, 17 e 20).

Vale destacar que o teor de Mg (Cmolc/kg) não foi significativo quanto à aplicação da cinza (g) + adubação mineral no solo.

O teor de N (Cmolc/kg) não se mostrou significativo quanto à aplicação da cinza (g), e cinza (g) + adubação mineral no solo.

Tabela 6 - Teores médios de macronutrientes do solo usado no experimento em vasos.

Tratamento dos vasos	Teores médios de macronutrientes do solo						
	pH água	CE (ds/m)	N (g/kg)	P (mg/kg)	Ca ²⁺ (cmolc/kg)	Mg ²⁺ (cmolc/kg)	K ⁺ (cmolc/kg)
AM1 = 0g de cinza + 0g FTE BR-12	6,1	0,83	0,84	2	8,5	2,5	0,1
AM2 = 0g de cinza + 0g FTE BR-12	6,1	0,95	0,84	2	8,5	1,7	0,1
AM3 = 0g de cinza + 0g FTE BR-12	5,5	0,75	1,12	3	6	3	0,09
AM1 = 0g de cinza + adubação mineral		2,12	3,36	3	1	2,4	0,08
AM2 = 0g de cinza + adubação mineral	4,2	1,38	1,96	13	1,1	1,6	0,08
AM3 = 0g de cinza + adubação mineral	4,3	1,38	1,12	6	1,5	2,3	0,09
AM1 = 40g de cinza	7,9	0,99	1,12	48	24,3	3,5	0,46
AM2 = 40g de cinza	7,9	1,14	1,4	36	19,3	3,2	0,34
AM3 = 40g de cinza	7,9	1,1	1,68	38	20,1	2,6	0,32
AM1 = 40g de cinza + adubação mineral	7,8	0,51	1,68	12	25,1	2,7	1,25
AM2 = 40g de cinza + adubação mineral	7,5	4,13	1,4	45	24,4	3,3	0,34
AM3 = 40g de cinza + adubação mineral	7,5	4,82	1,96	45	23,3	2,7	0,24
AM1 = 80g de cinza	8	1,1	1,4	68	25	2,4	0,65
AM2 = 80g de cinza	8	1,06	1,4	66	24,2	3,6	0,54
AM3 = 80g de cinza	8	1,12	1,4	31	25	4,5	0,7
AM1 = 80g de cinza + adubação mineral	7,7	0,43	1,12	95	21,6	2,5	0,61
AM2 = 80g de cinza + adubação mineral	7,6	4,54	1,4	87	21,7	2,4	0,44
AM3 = 80g de cinza + adubação mineral	7,8	4,68	1,68	16	27,7	4,4	0,91
AM1 = 120g de cinza	8,1	1,12	1,4	9	25,1	4,9	0,87
AM2 = 120g de cinza	7,7	4,61	1,12	95	21,8	2,9	0,74
AM3 = 120g de cinza	8	1,22	1,68	12	25,6	4,8	0,89
AM1 = 120g de cinza + adubação mineral	7,7	4,96	0,84	88	23,1	2,3	0,73
AM2 = 120g de cinza + adubação mineral	7,7	4,61	1,12	95	21,8	2,9	0,74
AM3 = 120g de cinza + adubação mineral	7,7	4,33	1,4	37	27,7	4	0,74

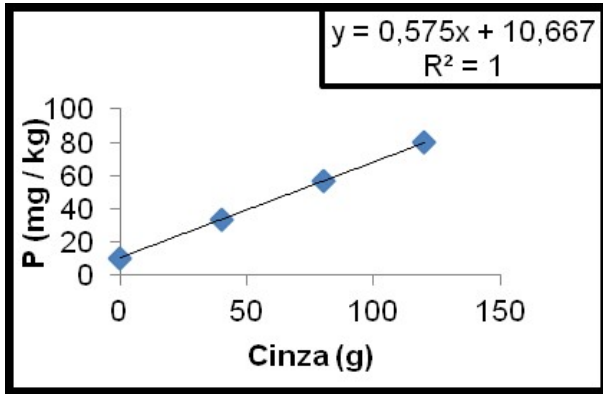


Figura 14 - Ilustração gráfica do teor médio do P (mg/kg) às aplicações de cinza (g) no solo.

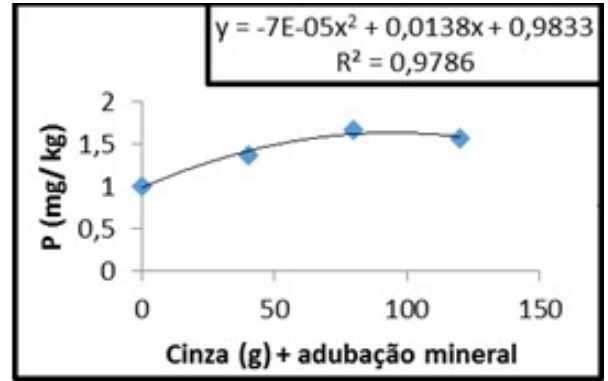


Figura 15 - Ilustração gráfica do teor médio do P (mg/kg) às aplicações de cinza (g) + adubação mineral no solo.

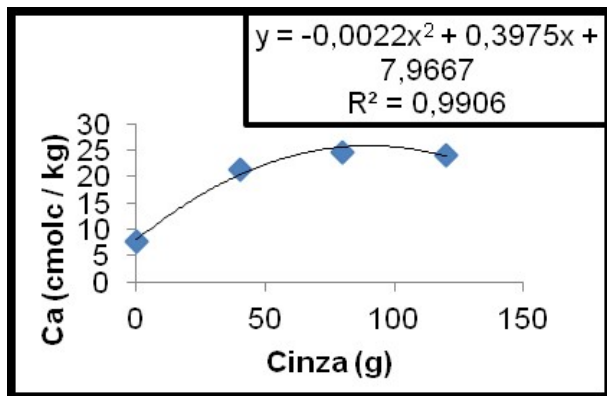


Figura 16 - Ilustração gráfica do teor médio do Ca (Cmolc/kg) às aplicações de cinza (g) no solo.

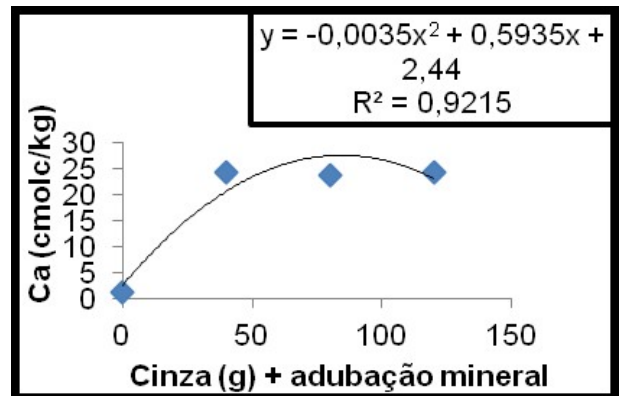


Figura 17 - Ilustração gráfica do teor médio do Ca (Cmolc/kg) às aplicações de cinza (g) + adubação mineral no solo.

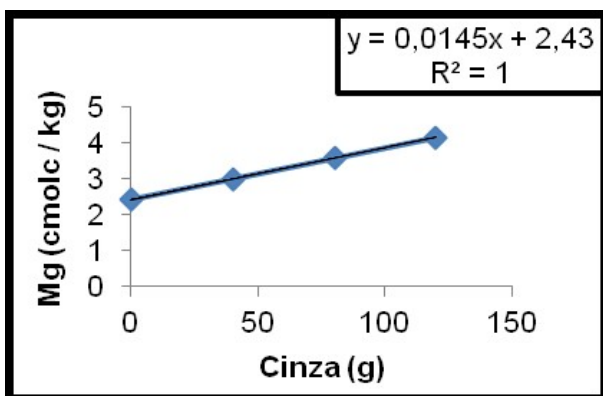


Figura 18 - Ilustração gráfica do teor médio da Mg (Cmolc/kg) às aplicações de cinza (g) no solo.

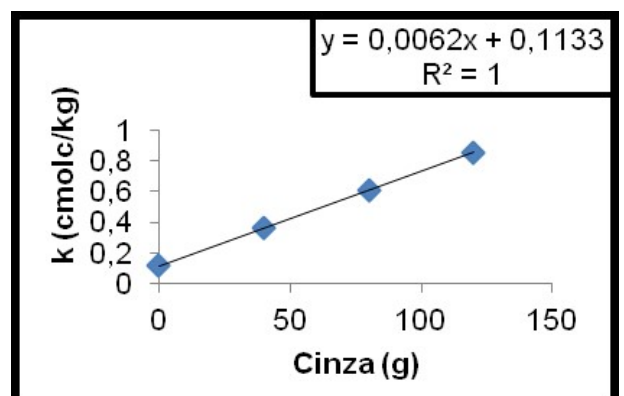


Figura 19 - Ilustração gráfica do teor médio de K (Cmolc/kg) às aplicações de cinza (g) solo.

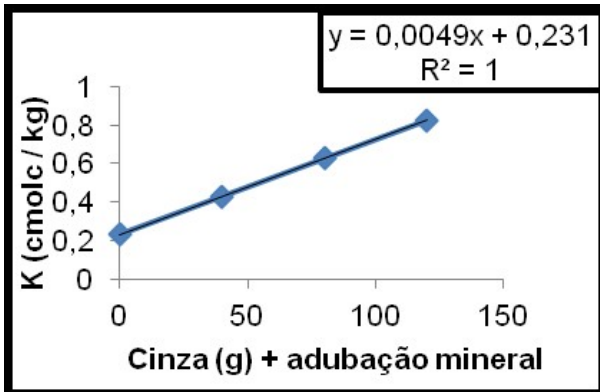


Figura 20 - Ilustração gráfica do teor médio de K (Cmolc/kg) às aplicações de cinza (g) + adubação mineral no solo.

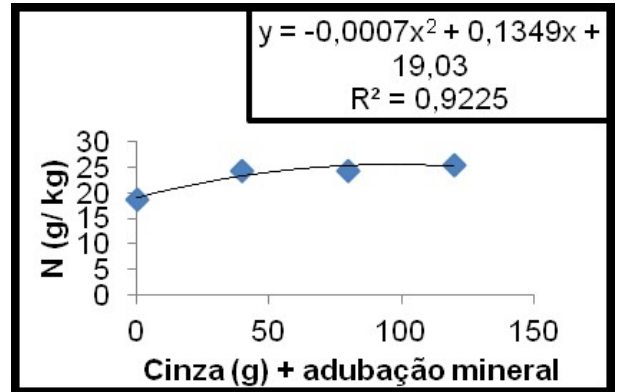


Figura 22 - Regressão da concentração de N (g/kg) na planta com tratamento de cinza (g) + adubação mineral.

7.6 Efeitos sobre a concentração de nutrientes na planta

Com referência às médias dos teores dos elementos químicos determinados no tecido das plantas (MS), os resultados dos tratamentos do experimento apresentaram maior significância na concentração de peso dos elementos Ng/kg, Pg/kg, Kg/kg e Cag/kg (Figuras 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 e 28).

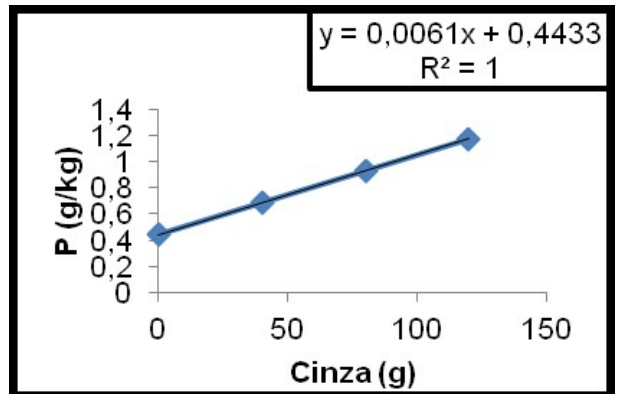


Figura 23 - Regressão da concentração de P(g/kg) na planta com tratamento de cinza (g).

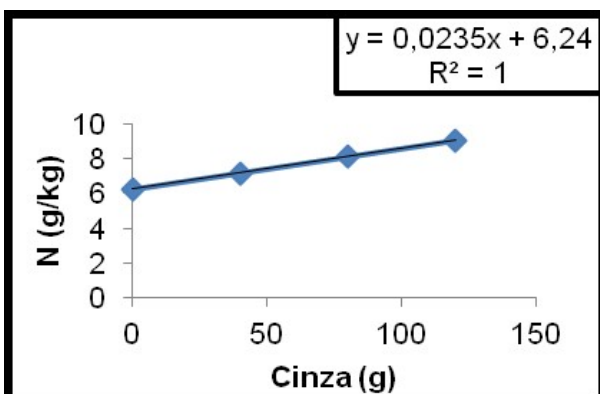


Figura 21 - Regressão da concentração de N(g/kg) na planta, com tratamento de cinza (g).

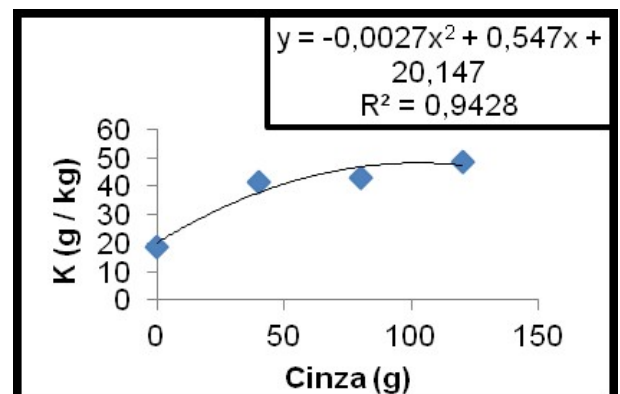


Figura 24 - Regressão na concentração de K (g/kg) na planta com tratamento de cinza (g).

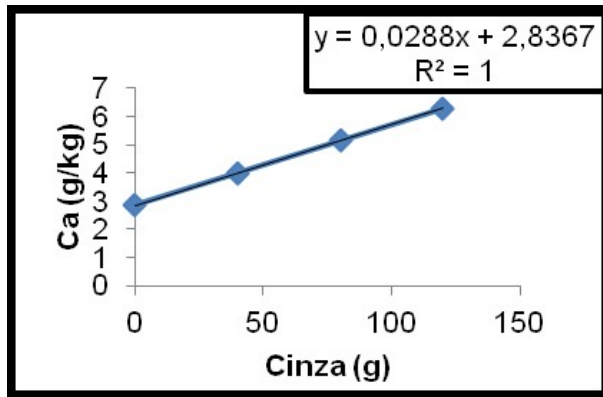


Figura 25 - Regressão na concentração de Ca (g/kg) na planta com aplicação cinza (g).

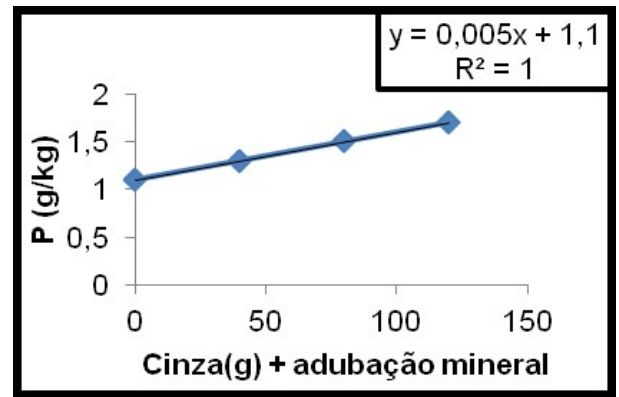


Figura 26 - Regressão na concentração de P(g/kg) na planta com tratamento de cinza (g) + adubação mineral.

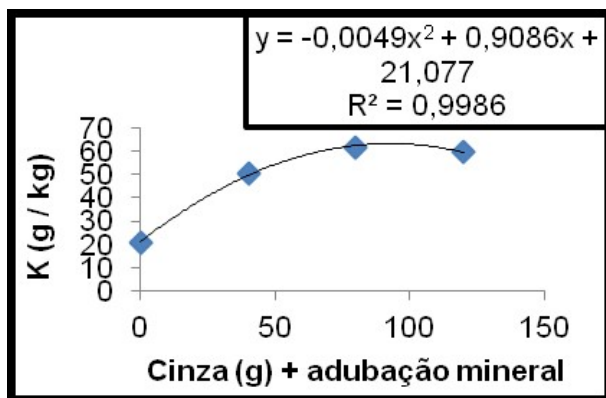


Figura 27 - Regressão na concentração de K (g/kg) na planta com tratamento de cinza (g) + adubação mineral.

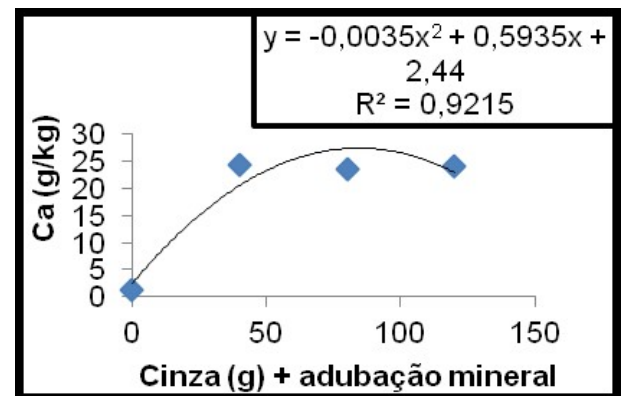


Figura 28 - Regressão na concentração de Ca (g/kg) na planta com tratamento de cinza (g) + adubação mineral.

A regressão da concentração do Mg (g/kg) não foi significativa para os tratamentos aplicados na planta.

Fazendo-se uma avaliação dos resultados da pesquisa, tendo-se como base principalmente o experimento com o cultivo de milho, verifica-se que a incorporação ao solo do rejeito cinza-cal juntamente com os fertilizantes químicos apresentou resultados que o qualifica como fonte de nutrientes vegetais e corretivo da acidez do solo.

Os resultados das análises químicas do tecido vegetal das plantas matéria seca (MS) do experimento encontram-se destacados na Tabela 07.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados da pesquisa

objeto desta dissertação, pode-se concluir que a cinza + adubação mineral contribui no incremento da produção vegetal.

Ademais, fazendo-se uma avaliação dos resultados da pesquisa, tendo-se como base principalmente o experimento com o cultivo de milho, verifica-se que a incorporação ao solo do rejeito cinza-cal juntamente com os fertilizantes químicos, revelou propriedades relevantes no cultivo vegetal. Assim, estas substâncias se configuram como fonte de nutrientes vegetais e corretivos da acidez do solo, desde que esses produtos sejam utilizados nas dosagens tecnicamente adequadas.

Tabela 7 - Resultados das análises químicas do tecido vegetal das plantas MS do experimento.

Tratamento	Dosagens de cinza-cal e/ou FTE BR-12, Sulfato de Amônio e Superfosfato Tríplo incorporados ao solo	Elementos químicos analisados (g/kg) MS				
		N	P	K	Ca	Mg
A	AM1 = 0g de cinza + 0g FTE BR-12	5,1	0,4	17,6	3,1	1,9
	AM2 = 0g de cinza + 0g FTE BR-12	8,4	0,4	18,8	3,1	3,4
	AM3 = 0g de cinza + 0g FTE BR-12	6,2	0,4	20,4	1,4	1,6
B	AM1 = 0g de cinza + adubação mineral	19,9	0,9	27,6	0,9	2,2
	AM2 = 0g de cinza + adubação mineral	18,8	1,2	22,0	1,8	1,9
	AM3 = 0g de cinza + adubação mineral	17,4	0,9	12,8	0,4	2,2
C	AM1 = 40g de cinza	7,3	0,7	39,6	4,4	2,9
	AM2 = 40g de cinza	9,0	0,9	42,6	3,0	1,3
	AM3 = 40g de cinza	7,0	0,8	42,0	4,0	1,2
D	AM1 = 40g de cinza + adubação mineral	22,7	1,1	46,2	6,1	1,9
	AM2 = 40g de cinza + adubação mineral	25,8	1,3	47,4	10,3	1,9
	AM3 = 40g de cinza + adubação mineral	24,4	1,7	57,6	6,6	1,7
E	AM1 = 80g de cinza	7,3	0,9	44,4	8,2	1,3
	AM2 = 80g de cinza	5,3	0,9	45,6	6,0	0,6
	AM3 = 80g de cinza	6,2	0,7	39,6	5,1	0,2
F	AM1 = 80g de cinza + adubação mineral	24,9	1,4	60,8	9,6	2,2
	AM2 = 80g de cinza + adubação mineral	24,1	1,8	65,6	6,8	2,2
	AM3 = 80g de cinza + adubação mineral	24,1	1,8	58,2	9,2	2,0
G	AM1 = 120g de cinza	8,1	1,0	39,6	7,6	1,0
	AM2 = 120g de cinza	11,8	1,5	53,4	3,1	1,9
	AM3 = 120g de cinza	10,4	1,1	52,8	5,8	2,4
H	AM1 = 120g de cinza + adubação mineral	23,0	1,6	48,0	7,8	1,3
	AM2 = 120g de cinza + adubação mineral	25,8	1,8	67,2	7,7	2,6
	AM3 = 120g de cinza + adubação mineral	27,7	1,3	64,0	7,8	1,6

Para uma maior segurança da resposta desses resultados, de modo mais conclusivo, sugere-se um aprofundamento dos estudos dos efeitos do resíduo cinza-cal, bem como da adubação mineral, quanto a produção da planta. Isto poderia ser feito utilizando-se um universo mais amplo de experimentos de campo, para consolidação dos resultados.

O aproveitamento desses resíduos, além de acarretar um significativo benefício ao meio ambiente, em decorrência da eliminação dos entulhos e da redução da poeira e

particulados por eles gerada, além da elevação dos custos de manejo, vem a contribuir em muito como incremento/fonte de nutrientes vegetal e corretivo da acidez dos solos. A limpeza dos arredores das caieiras proporcionaria também o melhoramento das condições de trabalho dos produtores de cal, que hoje resultam em atividades notavelmente insalubres.

RECOMENDAÇÕES

Procedendo-se um diagnóstico dos resultados dos trabalhos de pesquisa objeto desta dissertação, verifica-se que a

eficácia do uso do rejeito de caieira na estabilização de solo é fato aqui comprovado. No entanto, algumas amostras apresentaram índices geotécnicos que suscitaram dúvidas.

Na preparação das amostras para serem submetidas aos ensaios geotécnicos, é de se esperar que à medida que se fosse aumentando o percentual de rejeito ao solo, este iria adquirindo uma maior consistência, proporcionada pelo efeito estabilizante. Assim, quanto maior o percentual de rejeito incorporado ao solo, maior deveria ser o seu CBR, de modo a apresentar um crescimento retilíneo deste índice. Porém, com o solo argiloso, principalmente, isto não se configurou.

Embora os resultados da pesquisa não deixem dúvidas quanto à performance do rejeito de caieiras e de fornos de cal na estabilização dos solos, recomenda-se que, em outra oportunidade, as investigações geotécnicas sejam aprofundadas, com o objetivo maior de dirimir as dúvidas acima mencionadas, inclusive em outras áreas de extração de calcários no estado do Ceará, que são muitas, como motivo de comparação.

Para assegurar-se do controle e confiabilidade dos procedimentos dos ensaios geotécnicos utilizados, considera-se necessário que novas amostras sejam investigadas, e que essas amostras sejam compostas com os mesmos tipos de solo e os mesmos percentuais de rejeito que as já analisadas para a região considerada neste trabalho. Ademais, que os ensaios sejam procedidos em pelo menos três réplicas de amostras, com o intuito de que os resultados de cada amostra sejam expressos com base na média dos respectivos índices geotécnicos que venham a ser apurados nessas investigações.

Como uma última colocação, seria recomendável uma avaliação destes rejeitos com análises de difração e fluorescência de raios X, no sentido se poder conhecer bem mais refinadamente a composição destes rejeitos e, suas mais diferentes maneiras de aproveitamento em distintas áreas do conhecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL/CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Mapa Geológico do Estado do Ceará, escala 1: 500.000 – convênio MME/CPRM. – Governo do Estado do Ceará/ Secretaria de Recursos Hídricos. Fortaleza - CE, 2003.
- BRASIL/MME. Projeto RADAMBRASIL. Folha SA. 24 Fortaleza; Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro, 1981. 448p.
- COSTA, M. J. et al. Projeto Jaibaras – Relatório Final. DNPM – CPRM. Recife-PE, 1973.
- EMBRAPA. Manual de Métodos e Análises de Solo. 20 Edição, Revista e Atualizada. Centro Nacional de Pesquisa de solos. Rio de Janeiro, 1997; 212p.
- FEITOSA MELO, C. e C. Impactos Ambientais Causados pelas Queimadas nos Solos do Distrito Miranda – Município de Parambu/CE. Dissertação. Pós-graduação em Geologia. Universidade Federal do Ceará. 2006, 103p.
- HOLZSCHUH, M.J.; KAMINSKI, J.; BARTZ, H.R.; KLEIN, M.; TIECHER, T.; MORO, V. e TOLEDO, M.J.A. Efeito do Calcário Calcítico e Dolomítico no Rendimento de Soja e Aveia Preta Aplicado na Superfície e Incorporado. In XXXI Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. – Gramado RS, 2007.

- MACHADO, F. P.; PESSOA, A. de C. C.; & SABADIA, J. A. B. Aproveitamento de Rejeitos de Caieiras na Melhora Significativa da Resistência dos Índices de Pavimentação de Estradas e Mitigação de Dano Ambiental. Revista de Geologia. Universidade Federal do Ceará, 2015, vol 28(1), pp 53 - 70.
- MACHADO, F.P. Aproveitamento de Rejeito de Caieira na Pavimentação de Estrada: Mitigação de Dano Ambiental. Verlag Editora. Novas Edições Acadêmicas. ISBN: 978-3-639-69268-6. OmniScriptum GmbH & Co. KG. Copyright/Copirrait © 2014 OmniScriptum GmbH.& Co. KG. 2014. 64p.
- MACHADO, F.P. Aproveitamento de Rejeito de Caieira na Pavimentação de Estradas Vicinais: Mitigação de Dano Ambiental. Dissertação. Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Ceará. 2011. 60p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. e OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. Ed. Piracicaba; Potafos, 1997. 319p.
- MORAES, M.F.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. e COSCIONE, A.R. Mobilidade de Íons em Solo Ácido com Aplicação de Calcário, Ácido Orgânico e Material Vegetal em Superfície. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 31: 673-684 pp., 2007. Disponível no site: <http://www.scielo.br/pdf/>. Acesso em 12/02/2011.
- NAHASS, S. e SEVERINO, J. Calcário Agrícola no Brasil. Série estudos e documentos. Rio de Janeiro. CETEM/MCT. 2003. 79 p.
- NATALE, W. e PRADO, R. DE M. Avaliação da Fertilidade do Solo e do Estudo Nutricional de Plantas. Palestra. FCAV/UNESP. São Paulo – SP, fevereiro de 2002.
- OLIVEIRA, I. P; COSTA K. A. P.; RODRIGUES, C; MACEDO, R. F.; MOREIRA, F. P. e SANTO, K. J. G. Manutenção e correção da fertilidade do solo para inserção do cerrado no processo produtivo. Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos, Goiás, ISSN 1808-8597, 2005, Vol 1(1), p. 50-64, 2005.
- OLIVER, E.N.; SILVA, A. R. P. Informações e Trabalhos sobre Calcário. Sindicato dos produtores de cal – SINDICAL. São Paulo – SP. 2009. Site: <http://www.sindical.com.br/informações.htm>. Acesso em 20/08/2009.
- SENA, J. dos S.; TUCCI, C.A.F.; LIMA, H.N. e HARA, F. A. dos S. – Efeito da Calagem e da Correção dos Teores de Ca e Mg do Solo sobre o Crescimento de Mudanças de Angelim-pedra (*Dinizia excelsa* Ducke). Acta Amazônica, Vol. 40(2) 2010; 309-318 – Manaus. AM – 2010.