



XVII Fórum Ambiental

Alta Paulista

27 a 29 de outubro de 2021

Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo
ISBN - 978-65-86753-38-7

EIXO TEMÁTICO:

- () Ambiente e Saúde pública
- () Bacias Hidrográficas, Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos
- () Biodiversidade e Unidades de Conservação
- () Campo, Agronegócio e as Práticas Sustentáveis
- () Cidades Sustentáveis
- () Conforto Ambiental no Ambiente Construído
- () Desastres, Riscos Ambientais e a Resiliência Urbana
- () Direito Ambiental
- () Educação Ambiental e Práticas Ambientais
- () Geotecnologias Aplicadas à Análise Ambiental
- () Patrimônio Histórico, Turismo e o Desenvolvimento Local
- (X) Saneamento e Ambiente
- () Segurança e Saúde do Trabalhador

Utilização de areia reciclada como material corretivo de acidez do solo na cultura da soja

Use of recycled sand as a corrective material for soil acidity in soybean crops

Uso de arena reciclada como material correctivo de la acidez del suelo en cultivos de soja

Gisele Herbst Vazquez

Professora Doutora, Universidade Brasil, Brasil
gisele.vazquez@universidadebrasil.edu.br

Andréa Cristiane Sanches

Professora Doutora, Universidade Brasil, Brasil
andrea.sanches@universidadebrasil.edu.br

Mateus Leonardo Welika dos Santos

Mestrando em Ciências Ambientais, Universidade Brasil, Brasil
mateusleonardo12@hotmail.com

RESUMO

A acidez é um dos principais fatores capazes de reduzir o potencial produtivo dos solos brasileiros, pois promove a liberação de elementos tóxicos para as plantas e diminui a disponibilidade de nutrientes. Os resíduos de construção civil e demolição reciclados (RCD-R classe A) constituem-se em um grande problema ambiental em cidades brasileiras, principalmente quanto a sua disposição irregular, causando enchentes, entupimento de galerias e assoreamento de canais, além da proliferação de vetores e poluição. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial da areia reciclada (RCD-R) como corretivo da acidez do solo, por meio de cultivo de soja, em um experimento instalado em Argissolo Vermelho Amarelo de textura arenosa/média, ácido e de baixa fertilidade com doses de 10, 20 e 40% de RCD-R, em massa, em Fernandópolis/SP. Foram avaliadas as variáveis relacionadas à fertilidade do solo e às plantas que foram submetidas a ANOVA e comparação de médias pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. Os resultados obtidos permitiram concluir que a areia reciclada da construção civil (RCD-R classe A) apresenta efeitos favoráveis quanto a capacidade de neutralizar os íons H⁺ na solução do solo e os adsorvidos às cargas negativas do solo, efeitos importantes como corretivo de acidez, além de proporcionar aumentos nos teores de Ca, Mg, SB, CTC e V%, maior desenvolvimento das plantas de soja, o que indica ser este uso uma alternativa ambientalmente correta para a destinação desses resíduos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo de construção e demolição reciclados (RCD-R). Corretivo de acidez do solo. Calcário.

RESUMEN

La acidez es uno de los principales factores capaces de reducir el potencial productivo de los suelos brasileños, ya que promueve la liberación de elementos tóxicos para las plantas y reduce la disponibilidad de nutrientes. Los residuos reciclados de construcción civil y demolición (RCD-R clase A) constituyen un importante problema ambiental en las ciudades brasileñas, especialmente en términos de su disposición irregular, provocando inundaciones, obstrucción de galerías y sedimentación de canales, además de proliferación de vectores y contaminación. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de la arena reciclada (RCD-R) como correctivo de la acidez del suelo, a través del cultivo de soja, en un experimento instalado en Argisol Rojo-Amarillo de textura arenosa/media, ácido y baja fertilidad con dosis de 10, 20 y 40% de RCD-R, en masa, en Fernandópolis/SP. Se evaluaron variables relacionadas con fertilidad del suelo y con plantas que fueron sometidas a ANOVA y comparación de medias mediante la prueba de Skott-Knott al 5% de probabilidad. Los resultados obtenidos permitieron concluir que la arena reciclada de construcción civil (RCD-R clase A) tiene efectos favorables en cuanto a su capacidad para neutralizar iones H⁺ en la solución del suelo y los adsorbidos a cargas negativas del suelo, efectos importantes como corrector de acidez, además de brindar incrementos en contenidos de Ca, Mg, SB, CTC y V%, mayor desarrollo de plantas de soja, lo que indica que este uso es una alternativa ambientalmente correcta para la disposición de estos residuos.

PALABRAS CLAVE: Residuos reciclados de construcción y demolición (RCD-R). Corrector de acidez del suelo. Caliza.

ABSTRACT

Acidity is one of the main factors capable of reducing the productive potential of Brazilian soils, as it promotes the release of toxic elements for plants and reduces the availability of nutrients. Recycled civil construction and demolition waste (RCD-R class A) is a major environmental problem in Brazilian cities, especially in terms of its illegitimate disposal, causing floods, clogging of galleries and silting of channels, in addition to the proliferation of vectors and pollution. The objective of this study was to evaluate the potential of recycled sand (RCD-R) as a corrective of soil acidity, through soybean cultivation, in an experiment installed in Red-Yellow Argisol with sandy/medium texture, acid and of low fertility with doses of 10, 20 and 40% of RCD-R, by mass, in Fernandópolis/SP. Variables related to soil fertility and to plants that were subjected to ANOVA and comparison of averages by the Skott-Knott test at 5% probability were evaluated. The results obtained allowed us to conclude that recycled sand from civil construction (RCD-R class A) has favorable effects in terms of its ability to neutralize H⁺ ions in the soil solution and those adsorbed to negative soil charges, important effects as an acidity corrective, in addition to providing increases in the contents of Ca, Mg, SB, CTC and V%, greater development of soybean plants, which indicates that this use is an environmentally correct alternative for the disposal of these residues.

KEYWORDS: Recycled construction and demolition waste (RCD-R). Soil acidity corrective. Limestone.

1 INTRODUÇÃO

A reação do solo é o grau de acidez ou de alcalinidade que ele apresenta e é uma de suas características mais importantes, pois afeta tanto as suas propriedades químicas, quanto as físicas e as biológicas. Ela pode ser ácida, neutra ou alcalina e o aparecimento de um destes tipos de reação está intimamente ligado a condições de precipitação atmosférica na região e ao material de origem do solo (RONQUIM, 2010).

De uma maneira geral, quando se tem alta precipitação atmosférica e temperatura elevada, o que ocorre nas regiões tropicais úmidas, os solos apresentam reação ácida. Além do material de origem e das condições de precipitação atmosférica, o uso e manejo do solo também afetam a sua reação, podendo o solo se apresentar mais ácido ou menos ácido em função do que foi ou é feito no local (RONQUIM, 2010).

A acidez do solo é um dos principais fatores capazes de reduzir o potencial produtivo dos solos brasileiros, pois promove a liberação de elementos tóxicos para as plantas (Al^{3+}) e diminui a disponibilidade de nutrientes para as mesmas (LOPES et al., 1991).

De acordo com Lopes e Guilherme (2000), adubar uma cultura em solo ácido é desperdiçar fertilizantes visto que o pH baixo do solo dificulta a assimilação dos nutrientes pelas plantas, sendo este um dos fatores mais importantes relacionados à baixa eficiência das adubações, menores produtividades e baixos lucros dos agricultores, em um grande número de culturas no Brasil. Assim, a correção da acidez do solo é uma das práticas que mais contribui para o aumento da eficiência dos adubos e, conseqüentemente, da produtividade e da rentabilidade agropecuária (LOPES et al., 1991).

Os principais materiais empregados como corretivos da acidez do solo são: cal virgem, cal hidratada ou extinta, calcário calcinado, silicatos (escória de siderurgia), calcários marinhos (corais Sambaquis) e o calcário (rocha calcária) sendo, este último, o mais utilizado (LOPES et al., 2002).

O processo da construção civil há décadas tem aplicado e utilizado matérias-primas não renováveis (de origem natural), como materiais cerâmicos, agregados do concreto armado, pedra britada, areia grossa, aço, água e agregante cimento Portland. Essa matéria-prima constitui os elementos estruturais dos edifícios, que são transformados em resíduos sólidos provenientes das edificações em reforma, das demolições e do desperdício que ocorre nas edificações em construção. Constata-se que, em muitas cidades, não há mais locais para essas disposições, em virtude da aglomeração de pessoas e da alta valorização do espaço físico, situação que causa grande impacto ambiental ao longo da cadeia produtiva da construção civil e um gerenciamento complexo e oneroso à municipalidade (OLIVEIRA, 2015).

Aproximadamente 20 a 50% dos recursos naturais são consumidos pela construção civil, sendo considerado o maior gerador de resíduos de toda a sociedade (SANTOS et al., 2011; SANTOS et al., 2012). Segundo Pinto (1999), em cidades brasileiras de médio e grande porte, os resíduos originados de construções e demolições representam de 40 a 70% de todos os sólidos, cujo destino incorreto traz prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

A indústria da construção civil é um dos setores mais importantes da economia do Brasil. Esta contempla em seu arcabouço traços diversos, o que se demonstra pelo volume de mão de obra de várias especializações que emprega, gerando renda aos trabalhadores e fazendo circular riquezas, sendo responsável em grande parte pelo desenvolvimento do país. Da mesma forma, também é uma das mais impactantes, devido à grande quantidade de resíduos que gera,

contabilizado em cerca de dois terços de todo o material sólido gerado no Brasil (SCHERRER et al., 2014; REVISTA ENCONTRO, 2016).

A definição de resíduos da construção civil (RCD), de acordo com a Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é a seguinte:

Resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (BRASIL, 2002).

Os resíduos da construção civil reciclados (RCD-R) são classificados em quatro classes, de acordo com as possibilidades de reciclagem (A: reutilizáveis ou recicláveis como agregados; B: recicláveis para outras destinações, tais como os plásticos; e C: sem tecnologia de reciclagem economicamente viável; D: resíduos perigosos) (BRASIL, 2002).

Ainda de acordo com a Resolução nº 307/2002 do CONAMA, em seu artigo 10, determina que os resíduos, segundo a classificação estabelecida no artigo 3º, deverão ter seus destinos determinados no seguinte ordenamento:

- I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- II - Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- III - Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;
- IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas (BRASIL, 2002).

Assim, a Resolução CONAMA nº 307/2002 passa a ser a principal diretriz para os setores público e privado, e a sociedade como um todo. Ela estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos de construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais. Nela é apresentado um modelo de gestão na qual são definidas responsabilidades para os agentes envolvidos: geradores, transportadores, áreas de destinação e municípios e, desde sua publicação, a Resolução tem sofrido alterações contemplando as melhorias decorrentes de sua implementação.

Por sua vez, segundo Mello Filho (2005), o calcário é uma das principais matérias-primas utilizadas na fabricação do cimento Portland e da cal hidratada - produtos largamente utilizados na preparação de concretos, argamassas e reboques nas obras de construção civil no Brasil. Na produção do cimento Portland, o calcário contribui na proporção de 85 a 95 %, ao qual é adicionado a argila. A mistura calcário-argila é moída, homogeneizada e calcinada a uma temperatura de 1.450°C em forno rotativo, obtendo-se o clínquer. O cimento Portland é finalmente obtido a partir da moagem do clínquer com alguns aditivos, como gesso, calcário finamente moído, pozolana e escória siderúrgica, em diversas proporções para regular propriedades do cimento, como tempo de endurecimento, resistência e melhora da trabalhabilidade e acabamento dele.

Assim, espera-se que os RCD-R, também chamados de areia reciclada, formada basicamente por tijolos, reboco, concretos, argamassa e outros, por possuírem elementos

minerais como Ca, Mg e outros, apresentem potencial de aplicação agrícola como condicionante de solos ou como uso em substrato de plantas e mudas.

Nos últimos anos, o agronegócio brasileiro tem sido o responsável por grande parte da economia do país, representando cerca de 21% do Produto Interno Bruto (PIB) e por 49,7% das exportações nos cinco primeiros meses de 2020, sendo o complexo soja o primeiro da pauta (WALENDORFF, 2020).

Atualmente, há uma grande preocupação com a disposição dos resíduos gerados ao longo dos diferentes processos produtivos. Nesse sentido, o setor de construção civil enfrenta sérios problemas, visto que produz grandes quantidades de resíduos ao longo do processo de execução das obras ou devido ao desmonte de construções já existentes. A disposição inadequada desses pode provocar sérios danos ambientais, tais como degradação de áreas de manancial e proteção permanente; assoreamento de rios e córregos; entre outros.

Jones et al. (2009), em um estudo sobre a utilização de resíduos minerais de pedreiras (basalto) associados a resíduos vegetais, citaram os RCD-R como possível exemplo de resíduo com potencial de aplicação na agricultura. No entanto, existe uma enorme carência de estudos relacionados à reutilização de tais resíduos, sendo o uso na correção de solos uma das possibilidades, visto que os solos brasileiros são ácidos em sua maioria. A acidez é representada basicamente pela presença de dois componentes - íons H^+ e Al^{+3} , que precisam ser neutralizados pela calagem para o adequado desenvolvimento das plantas, a exemplo da soja, que é uma das mais sensíveis.

A calagem possui diversos benefícios as plantas, como eliminar a acidez do solo e fornecer suprimento de cálcio e magnésio; estimular o crescimento das raízes pelo cálcio, auxiliando a planta na tolerância à seca; aumentar a disponibilidade de fósforo; aumentar a mineralização da matéria orgânica com consequente maior disponibilidade de nutrientes e favorecer a fixação biológica de nitrogênio, muito utilizada e importante na cultura da soja.

Assim, a reciclagem de resíduos da construção civil e seu posterior uso na neutralização da acidez em solo cultivado com soja é uma alternativa econômica e ambientalmente viável, justificando a importância da realização desta pesquisa.

2 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a efetividade da utilização de areia reciclada (RCD-R classe A) como material corretivo de acidez para a melhoria da qualidade química de solos, contribuindo para uma destinação ambientalmente correta desses resíduos. De modo específico, objetivou-se avaliar o desempenho do material como corretivo da acidez do solo em vasos, considerando a correção do pH do solo e o aumento da produtividade na cultura da soja (*Glycyne max* L.).

3 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido de setembro/2020 a abril/2021 na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Universidade Brasil, campus de Fernandópolis/SP, no Noroeste Paulista, localizada entre as latitudes 20°17'34,40" e 20°17'36,19" Sul e longitudes 50°16'44,90" e 50°16'48,67" Oeste e a uma altitude de 535 m.

O solo utilizado no experimento é do grupo PVA1, ou seja, Argissolo Vermelho Amarelo de textura arenosa/média (OLIVEIRA et al., 1999) e os resultados da análise química da sua fertilidade está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas do solo utilizado para a implantação do experimento. Fernandópolis/SP, 2020.

P res. mg dm ⁻³	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
			-----mmol _c dm ⁻³ -----						
5	17	5,0	1,2	14	5	26	20,2	46,2	43,72

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Brasil, campus Fernandópolis/SP, 2020.

A areia reciclada (RCD – R classe A) foi coletada na Usina de Reciclagem de Entulho pertencente a empresa Mejan Ambiental em Votuporanga/SP (Figura 1).

Figura 1 - Imagem a esquerda de processamento de material de reciclagem da empresa Mejan Ambiental e a direita, coleta da areia reciclada - RCD-R, Votuporanga/SP, 2020.



Fonte: Os autores, 2020.

Cerca de 3 m³ de solo foi coletado, previamente peneirado em malha de 2 mm e separado em seis frações. No dia 15/10/2020, três frações de solo foram misturadas homogeneamente em doses de 10, 20 e 40% de areia reciclada, base de massa; uma foi incorporada com calcário (PRNT = 93%) de forma a elevar a saturação por bases (V) para 80% segundo recomendação de Raij et al. (1997) e duas não sofreram misturas. As frações foram irrigadas com a mesma quantidade de água três vezes na semana, procurando-se manter a umidade do solo próximo da capacidade de campo, evitando a percolação. Após 65 dias de incubação do solo com a areia reciclada e o calcário, procedeu-se ao preenchimento dos vasos plásticos de 110 L.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com seis tratamentos e quatro repetições, consistindo em vinte e quatro unidades experimentais. Os tratamentos avaliados foram: (1) testem SA - testemunha sem adubação mineral na semeadura e sem corretivo; (2) testem - testemunha com adubação mineral na semeadura e sem corretivo; (3) calcário; (4) areia 10% - 10% de areia reciclada; (5) areia 20% - 20% de areia reciclada e (6) areia 40% - 40% de areia reciclada, todos em base de massa.

No dia 22/12/2020 (65 dias após a incubação) todos os vasos com exceção dos testem SA, foram adubados com fósforo (90 kg/ha) na forma de superfosfato simples e potássio (60 kg/ha) na forma de cloreto de potássio, sendo as doses dos nutrientes calculadas de acordo com os resultados da análise do solo (Tabela 1) segundo recomendação de Raij et al. (1997) visando uma produtividade de 3,0 a 3,4 t ha⁻¹ de soja.

No mesmo dia foi efetuada a semeadura com sementes da cultivar CZ37B43 IPRO que foi inoculada com *Bradyrhizobium* (produto comercial NitroGeo®) na dose de 300 mL por 50 kg

de sementes. Cada vaso foi semeado com 18 sementes de soja, irrigados com 5 L de água e depois cobertos com uma tela sombrite para proteção contra predação por pássaros por 15 dias.

Durante todo o transcorrer do experimento os vasos foram irrigados, de modo a manter a umidade do solo próxima de 70% da capacidade de campo. Após 17 dias (07/01/2021) e 37 dias da semeadura (28/01/2021), os vasos foram desbastados restando 12 e 8 plantas por unidade, respectivamente. Quando necessário, as plantas daninhas foram retiradas manualmente, bem como as pragas (lagartas) (Figura 2).

Figura 2 - Imagem a esquerda vaso com oito plantas e a direita, vista geral do experimento, Fernandópolis/SP, 2021.



Fonte: Os autores, 2021.

Após 110 dias da semeadura (12/04/2021) as plantas foram retiradas e avaliadas quanto à altura da planta - AP (cm), altura de inserção da primeira vagem - AIPV (cm), número de vagens por planta - NVP, número de sementes por vagem - NSV, peso de sementes por planta -PSP (g), massa de 1000 sementes - M1000 (g) e massa seca da parte aérea por planta – MSPA (g). Os valores do PSP e M1000 foram corrigidos para 13% de umidade (base úmida).

Em seguida, foi realizada uma amostragem do solo de cada vaso para análise de fertilidade, segundo metodologia descrita por Raji et al. (2001), nas quais foram determinados pH, K, Ca, Mg, H + Al, SB, CTC e V%.

Os resultados das variáveis relacionadas à fertilidade do solo e à biometria das plantas foram submetidos a análise de variância pelo teste F e quando significativos foram comparadas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise do solo após 110 dias da semeadura, ou seja, após 175 dias da incubação do solo com a areia reciclada e calcário, estão apresentados na Tabela 2.

De acordo com os valores da Tabela 2, infere-se que todos os tratamentos com o uso da areia reciclada foram eficientes em neutralizar a acidez do solo. O tratamento com areia 40% foi superior aos demais, superando inclusive o calcário, o que indica que essa dose pode até ser excessiva.

Segundo os limites de interpretação de teores de acidez em CaCl_2 e saturação por bases (V%) disponível no Boletim 100 (RAIJ et al., 1997), as testemunhas apresentaram uma acidez classificada como média (5,1) cujos valores devem estar entre 5,1-5,5, ou seja, no limite, visto que abaixo de 5,0 considera-se acidez alta. Os tratamentos com calcário e areia elevaram o pH para valores acima de 6,0, o que é considerado acidez muito baixa. Os resultados obtidos por Ramalho e Pires (1999) e Lasso (2011) também demonstraram que a adição destes resíduos

é capaz de elevar o pH do solo, indicando potencial de utilização desses como condicionador de solo.

Tabela 2 - Características químicas do solo após 175 dias de reação dos diversos tratamentos avaliados. Fernandópolis/SP, 2021.

Tratam	pH CaCl ₂	M.O. g dm ⁻³	P res. mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	-----mmol _c dm ⁻³ -----			V %
							H+Al	SB	CTC	
Testem SA	5,1d	14,0b	4,5	0,95	9,75d	3,5d	30,75a	14,4d	44,95d	31,58d
Testem	5,1d	14,5b	5,25	1,02	10,5d	4,0d	29,75a	15,52d	45,27d	34,24d
Calcário	6,7b	15,0a	5,0	0,85	16,7c	5,25c	27,0b	22,85c	49,85b	45,83c
Areia 10%	6,4c	15,5a	5,0	1,07	16,2c	4,75c	26,0b	22,07c	48,07c	45,90c
Areia 20%	6,5c	15,75a	5,0	1,07	19,2b	6,25b	22,0c	26,57b	48,57c	54,69b
Areia 40%	7,6a	15,5a	5,5	1,25	24,7a	7,5a	17,75d	33,5a	51,25a	65,36a
Teste F	**	*	ns	ns	**	**	**	**	**	**
Média	6,3	15,04	5,04	1,03	16,2	5,21	25,54	22,45	47,99	46,27
CV (%)	2,03	5,37	12,15	12,7	8,06	11,31	6,41	8,62	0,97	8,15

Fonte: os autores, 2021.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

** : significativo ao nível de 1%, * significativo a 5%; ns: não significativo. CV: coeficiente de variação.

Testem SA – testemunha sem adubação mineral na sementeira; Testem – testemunha

M.O. matéria orgânica; SB – soma de bases trocáveis; CTC – capacidade de troca de cátions, V% - saturação por bases

A areia reciclada e o calcário proporcionaram reduções da acidez potencial do solo (H + Al), o que concorda com Lasso (2011) que relatou resultados de redução dos teores de H + Al utilizando resíduo da construção e demolição (RCD). Novamente o tratamento com areia reciclada 40% superou os demais, enquanto a areia a 10% não diferiu do calcário.

Os teores de matéria orgânica (M.O.) dos tratamentos com areia e calcário superaram as testemunhas, enquanto os valores de fósforo e potássio não apresentaram alterações significativas. De acordo com os limites de interpretação de teores de fósforo e potássio disponível no Boletim 100 para culturas anuais (RAIJ et al., 1997), o fósforo (P) e o potássio em todos os tratamentos são considerados baixos.

Por sua vez, apesar do teor de cálcio (Ca) em todos os tratamentos apresentar valores altos (> 7 mmol_c dm⁻³) (RAIJ et al., 1997), a areia reciclada a 40% foi superior a todos os tratamentos. O teor de magnésio (Mg) das testemunhas apresentou valores baixos (< 4 mmol_cdm⁻³) (RAIJ et al., 1997), enquanto os demais tratamentos elevaram o Mg para teores médios (entre 5 a 8 mmol_c dm⁻³), mais uma vez indicando a eficiência do uso da areia reciclada. Tanto para o Ca quanto para o Mg, a areia reciclada a 10% não diferiu do calcário.

A soma de bases (SB) com o uso da areia e do calcário apresentou aumentos que superaram estatisticamente as testemunhas, sendo a areia a 40% superior aos demais. De acordo com os resultados de Ramalho e Pires (2009), o RCD-R pode ser utilizado como fonte de nutrientes, o que foi confirmado com um ensaio em vasos, além de proporcionarem aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo.

A CTC do solo também sofreu interferência do uso da areia e do calcário, sendo novamente a areia a 40% superior aos demais. Segundo Silva (1999), a adição de resíduos da construção civil a solos agrícolas aumenta a CTC, propriedade importante e que está relacionada com os atributos químicos e os potenciais de fertilidade do solo, bem como com a reserva de nutrientes para as plantas, possibilitando redução das perdas de cátions por lixiviação e inativação de compostos tóxicos. Por sua vez, Lasso (2011) utilizando RCD-R na dose de 40% em massa no solo, observou elevações significativas nas concentrações das bases Ca²⁺ e Mg²⁺,

umentando, portanto, a soma de bases (SB) e a CTC do solo, superando em muito a ação da calagem convencional com calcário nos dois níveis utilizados (60 e 80%).

Já os valores da saturação por bases (V%) das testemunhas foram baixos, entre 26-50% de acordo com Raij et al. (1997), sendo inferiores aos demais, enquanto a areia a 20 e 40% passaram ao limite médio (51-70%), mostrando a eficiência do uso da areia reciclada. Para a cultura da soja, o recomendado é um valor de 60 de V%, o que foi alcançado apenas com o uso de areia a 40%. O calcário aplicado na dose de 1,1 t ha⁻¹ após cálculo baseado na análise da fertilidade do solo (Tabela 1) não elevou o V% como era esperado.

A Tabela 3 apresenta os resultados das variáveis AP, AIPV, NVP, NSV, PSP, M1000 e MSPA por planta de acordo com o tratamento avaliado.

Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre as variáveis biométricas avaliadas, com exceção da MSPA.

De forma geral, os valores biométricos foram muito baixos, provavelmente em decorrência das plantas se desenvolverem em vasos, aliado ao estresse decorrente das altas temperaturas e da baixa umidade relativa do ar durante todo o transcorrer do experimento, visto que a semeadura ocorreu em final de dezembro, período desfavorável e não recomendável para a cultura da soja em Fernandópolis/SP.

Tabela 3 - Médias dos valores de altura da planta (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV), número de vagens por planta (NVP), número de sementes por vagem (NSV), peso de sementes por planta (PSP), massa de 1000 sementes (M1000) e massa seca da parte aérea (MSPA) por planta de acordo com o tratamento avaliado. Fernandópolis, SP. 2020/2021.

Tratamento	AP (cm)	AIPV (cm)	NVP	NSV	PSP (g)	M1000 sem (g)	MSPA (g)
Testem SA	30,5	13,8	10,9	1,7	1,50	68,21	3,32 B
Testem	35,1	12,6	13,5	2,4	2,54	86,41	4,20 B
Calcário	31,6	11,6	16,8	2,3	2,44	63,20	5,98 A
Areia 10%	34,3	11,2	17,7	1,9	3,28	90,69	6,29 A
Areia 20%	36,6	13,2	15,2	1,7	2,22	71,78	5,17 A
Areia 40%	36,0	12,5	17,3	2,0	3,05	83,12	4,96 A
Valor de F	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
Média geral	34,0	12,5	15,2	2,0	2,5	77,23	4,99
CV (%)	12,2	22,1	29,1	23,4	47,2	31,2	17,1

Fonte: os autores, 2021.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

** : significativo ao nível de 1%, ns: não significativo. CV: coeficiente de variação.

Testem SA – testemunha sem adubação mineral na semeadura; Testem – testemunha

A cultivar de soja semeada foi a CZ37B43 IPRO, pertencente ao grupo de maturação 7.4, com ciclo médio de 113 dias, hábito de crescimento indeterminado, AP de 89 cm, AIPV de 15 cm, sendo a população recomendada para o seu plantio de 220-300 mil plantas ha⁻¹ (IGA, 2019).

Neste experimento, as médias da AP e da AIPV foram de 34 cm e de 12,5 cm, respectivamente, valores muito baixos e que inviabilizariam a colheita mecanizada da soja. Os valores referentes ao NVP, NSV, PSP, M1000 também foram muito baixos.

Os tratamentos testemunhas foram inferiores aos demais com o uso de areia reciclada e calcário em relação a MSPA, o que indica que o solo teve a sua acidez corrigida de forma a elevar a fertilidade, favorecendo o maior desenvolvimento das plantas de soja. Em alfafa, Lasso et al. (2013) em experimento em vasos com utilização de RCD-R provenientes de concretos,

argamassas e rebocos (material cinza) em doses superiores a 24 t ha⁻¹, relataram que o resíduo proporcionou significativos ganhos de produtividade.

Assim, de acordo com os resultados obtidos, há uma possibilidade do uso de RCD-R na agricultura, como uma alternativa viável ao uso do calcário como corretivo, podendo criar um novo mercado para a indústria de reciclagem de RCD, contribuindo para uma destinação final ambientalmente correta desses resíduos, o que vem ao encontro da Lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) da qual uma das principais diretrizes é o “incentivo ao uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados” (BRASIL, 2010).

Uma grande vantagem do RCD-R em relação ao calcário é que a geração do primeiro ocorre de forma distribuída em todos os municípios, enquanto o segundo é produzido apenas nas áreas de mineração de calcário. No Brasil, a distribuição geográfica das reservas de calcário é muito irregular, com grandes extensões nas regiões central e litorânea e apenas pequenos afloramentos nas regiões do extremo norte e sul do País (NERI, 2007). Como o custo do frete é o que tem maior impacto no custo final, tanto do RCD-R, como do calcário, a geração mais distribuída do primeiro tende a baratear, em média, o seu frete.

Embora os resultados apresentados sejam favoráveis, outro ponto importante e necessário, é incorporar uma avaliação de metais pesados como parâmetro de controle de qualidade dos RCD-R produzidos nas usinas de reciclagem, visto que não há regulamentação sobre sua aplicação na agricultura. Segundo Schaefer et al. (2007), a grande heterogeneidade de materiais e a grande variedade de fontes de RCD que dão origem aos agregados reciclados (RCD-R) conduzem à preocupação com a presença de contaminantes que possam se apresentar em concentrações perigosas. Na Flórida, foram encontrados altos níveis de metais pesados em RCD-R. Esses materiais podem provocar danos ambientais, como contaminação do solo e do lençol freático (TOWNSEND et al., 2004).

Por fim, há a necessidade de pesquisas adicionais com materiais provenientes de outras regiões do país, o estudo dos efeitos em outros solos e culturas, as avaliações como material para mudas e covas, o desenvolvimento de processos de separação da parte inerte do material (quartzo) e as avaliações adicionais mais detalhadas de impacto ambiental (LASSO et al., 2013).

5 CONCLUSÃO

A utilização de areia reciclada da construção civil (RCD-R classe A) apresenta efeitos favoráveis quanto a capacidade de neutralizar os íons H⁺ na solução do solo e os adsorvidos às cargas negativas do solo, efeitos importantes como corretivo de acidez, além de aumentos nos teores de Ca, Mg, SB, CTC e V%, proporcionando um maior desenvolvimento das plantas de soja e a destinação ambientalmente correta desses resíduos.

6 REFERÊNCIAS

BRASIL. [Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA]. Resolução n° 307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em: 06 jul. 2021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

IGA – INSTITUTO GOIANO DE AGRICULTURA. Desempenho agrônômico de cultivares de soja no Sudeste Goiano. Edição nº 1, agosto de 2019, Montividiu/GO. (Circular técnica, 1). Disponível em: <<http://iga-go.com.br/publicacoes/circular-tecnica-1-desempenho-agronomico-de-cultivares-de-soja-no-sudeste-goiano-2019>> Acesso em: 20 jul. 2021.

JONES, D. L.; CHESWORTH, S.; KHALID, M.; IQBAL, Z. Assessing the addition of mineral processing waste to green waste-derived compost: An agronomic, environmental and economic appraisal. **J. Bioresour. Technol.**, 100: 770-777, 2009.

LASSO, P. R. O. **Avaliação da utilização de resíduos de construção civil e de demolição reciclados (RCD-R) como corretivos de acidez e condicionadores de solo**. 122f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

LASSO, P. R. O.; VAZ, C. M. P.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, C. R. de; BACCHI, O. O. S. Avaliação do uso de resíduo de construção e demolição reciclados como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v, 37, p. 1659-1668, 2013.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agrônômicos**. 3. ed. rev. e atualizada. São Paulo: ANDA, 2000. 72 p. (Boletim Técnico, 4).

LOPES, A. S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. 3. ed. São Paulo: ANDA, 1991. 22 p. (Boletim Técnico, 1).

LOPES, C. F.; TAMANINI, C. R.; MONTE SERRAT, B.; LIMA, M. R. **Acidez do solo e calagem**. Curitiba: UFPR. 2002. Projeto de Extensão Universitária Solo Planta. Folder. Disponível em: <<http://www.soloplan.agrarias.ufpr.br/acidez.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

MELLO FILHO, C. H. R. **Estudo de caracterização e aplicação dos resíduos sólidos gerados na fabricação de precipitado de carbonato de cálcio como corretivo da acidez do solo**. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Ouro Preto, 2005.

NERI, A. C. **Avaliação da eficácia de medidas de recuperação ambiental em mineração de calcário para cimento**. São Paulo. 239f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, 2007.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**: Legenda expandida. Campinas: Instituto Agrônomo; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 1999. 64 p. e mapa.

OLIVEIRA, T. Y. M. **Estudo sobre o uso de materiais de construção: alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações**. 99f. Projeto de graduação (Graduação em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAMALHO, A. M.; PIRES, A. M. M. Viabilidade do uso agrícola de resíduo da construção civil e da indústria cerâmica: atributos químicos. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3., 2009, Campinas. **Anais...** Campinas: ITAL; IAC; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. 1 CD-ROM.

REVISTA ENCONTRO. **Sobras da construção civil podem ser recicladas e usadas no cultivo de plantas**. 2016. Disponível em: <<https://www.revistaencontro.com.br/canal/atualidades/2016/08/sobras-da-construcao-civil-podem-ser-recicladas-e-usadas-no-cultivo-de.html>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

RONQUIM, C. S. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. EMBRAPA, Campinas, 2010.

SANTOS, F. F.; TAMBARA JUNIOR, L. U. D.; CECHIN, N. F.; ALMEIDA, V. L.; SOUSA, M. A. B. Adequação dos Municípios do Estado do Rio Grande do Sul à Legislação de Gestão de Resíduos da Construção Civil. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 4, p. 1-18, 2012.

SANTOS, M. F. N. dos; BATTISTELLE, R. A. G.; HORI, C. Y.; JULIOTI, P. S. Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, [S.l.], n. 2, p. 57-73, mar. 2011. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/882>>. Acesso em: 07 ago. 2021.

SCHAEFER, C. O.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Estudo do comportamento de lixiviação de argamassas produzidas com agregados reciclados. **Exacta**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 243-252, 2007.

SCHERRER, A.; SILVA, J. L. G. da; BRITO, L. A. P. F. de. Estudo da influência do crescimento da construção civil na deposição de resíduos sólidos: estudo de caso no município de Caraguatatuba. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, [S.l.], v. 10, n. 2, jun. 2014. Disponível em: <<https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/1359>>. Acesso em: 07 ago. 2021.

SILVA, F.C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999. 370p.

TOWNSEND, T.; TOLAYMAT, T.; LEO, K.; JAMBECK, J. Heavy metals in recovered fines from construction and demolition debris recycling facilities in Florida. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 332, p. 1-11, 2004.

WALENDORFF, R. **Ministério comemora aumento das exportações do agronegócio, mas concentração das vendas preocupa**. 2020. Disponível em: <https://valor.globo.com/agronegocios/noticia/2020/06/10/ministerio-comemora-aumento-das-exportaes-do-agronegocio-mas-concentrao-das-vendas-preocupa.ghtml>. Acesso em: 20 jun. 2021.