



## Efeitos de biochars (carvões) provenientes de diferentes materiais na fertilidade de dois solos do Cerrado

Nayade Cristaldo Centurião<sup>1</sup>, Silvio Yoshiharu Ushiwata<sup>2</sup>, Cesar Crispim Vilar<sup>3</sup> e Ben Hur Marimon Junior<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso; nayadecristaldo99@gmail.com.

<sup>2</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso; s.ushiwata@unemat.br.

<sup>3</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso; cesarcvilar@gmail.com.

<sup>4</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso; bhmjunior@gmail.com.

\*Autor Correspondente: s.ushiwata@unemat.br

Recebido: 08/01/2021; Aceito: 09/07/2021.

**Resumo:** Os solos do Cerrado brasileiro possuem, na sua maioria, baixa fertilidade e alta acidez, necessitando de correção do pH com calagem. Uma alternativa promissora para melhoria das condições de fertilidade do solo é o uso do biochar como condicionador. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de carvões vegetais provenientes de diferentes materiais na correção da acidez de dois solos do Cerrado. Foi avaliado biochar produzido a partir de três diferentes resíduos vegetais: 1) misto de espécies do Cerrado; 2) casca de babaçu e 3) casca de pinus. O estudo foi conduzido em laboratório com delineamento experimental inteiramente casualizado com cinco doses de biochar 0; 4; 8; 16; 32 g kg<sup>-1</sup> equivalentes a 0; 8; 16; 32; 64 t ha<sup>-1</sup> de biochar e 4 repetições para cada tipo de biochar em Latossolo Amarelo (LA) e Neossolo Quartzarênico (RQ). O pH foi avaliado em 0; 15; 30; 60 e 90 dias após incubação (DAI) e a análise dos atributos químicos após o término da incubação, aos 90 dias. Conforme as equações de calibração, as doses de biochar para elevar o pH de LA para 5,5 e 6,5 foram de 18 e 35,8 t ha<sup>-1</sup>; 9,6 e 20 t ha<sup>-1</sup>; 15 e 31 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente para Biochar misto de espécies do Cerrado, casca de babaçu e pinus. Em RQ, as doses foram de 12,7 t ha<sup>-1</sup> e 26,5 t ha<sup>-1</sup>; 11,2 e 22 t ha<sup>-1</sup>; 8,6 e 17,6 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente para misto de espécies do Cerrado, casca de babaçu e pinus. As reações, com expressivos aumentos no pH, ocorreram logo após a aplicação (tempo 0) ou em 15 ou 30 dias após incubação, em ambos os solos. Aos 90 DAI, a aplicação de biochar elevou o pH, reduziu acidez potencial e saturação por alumínio (m%) em ambos os solos. Além disso, proporcionou incremento na disponibilidade de nutrientes, com destaque para o biochar de casca de pinus para o Latossolo Amarelo e casca de babaçu em Neossolo Quartzarênico. Os resultados indicam um grande potencial do uso de biochar na regulação do pH e melhoria da fertilidade dos solos agrícolas do Cerrado.

**Palavras-chave:** Condicionador de solo; Correção do solo; Propriedades químicas do solo; Solos ácidos.

## Effects of biochars (charcoal) made from different materials on the fertility of two Cerrado soils

**Abstract:** The Brazilian Cerrado soils, mostly, are infertile and highly acidic, requiring liming for the pH adjustment. A promising alternative for beneficial effects on soil fertility is the use of biochar as soil conditioner. The objective of this work was to evaluate the effect of biochars from different materials on two Cerrado acidic soils. The study was conducted in laboratory with a completely randomized design with five doses of biochars 0; 4; 8; 16; 32 g kg<sup>-1</sup> equivalent to 0; 8; 16; 32 and 64 t ha<sup>-1</sup> in four repetitions for each type of biochar in Oxisols Udox and Entisols Psamment. The pH evaluations were in 0; 15; 30; 60 and 90 days after incubation (DAI) and the analysis of the chemical attributes was performed after the end of the incubation, at 90 days. According to the calibration equations, the doses of biochar to raise the pH of LA to 5.5 and 6.5 were 18 and 35.8 ha<sup>-1</sup>; 9.6 and 20 t ha<sup>-1</sup>; 15 and 31 t ha<sup>-1</sup>, respectively for mixed of Cerrado species, babassu bark and pine. In RQ, the doses would be 12.7 t ha<sup>-1</sup> and 26.5 t ha<sup>-1</sup>; 11.2 and 22 t ha<sup>-1</sup>; 8.6 and 17.6 t ha<sup>-1</sup>, respectively for mixed Cerrado species, babassu bark and pinus. The reactions occurred very quickly, with significant increases in pH soon after application (time 0) or in few days (15 or 30 Days after incubation - DAI) for both soils. After 90 DAI, biochar increased the pH, reduced acidity potential and aluminum saturation (m%) in both soils. In addition, it provided an increase in the availability of nutrients, with emphasis on the biochar of pine bark for the Oxisols Ustic and babassu bark in Entisols Psamment. The results

suggest the great potential of biochar in pH regulating and improvement of the soil fertility for agricultural purpose in Cerrado soils.

**Key-words:** Acidic soils; Soil chemical properties; Soil corrections; Soil conditioner.

## 1. INTRODUÇÃO

A acidez do solo pode ser de originada durante o processo de formação do solo devido a processos que contribuem na remoção dos cátions de caráter básicos como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  e também a partir da carência de bases do material de origem e além disso, adubações inadequadas e cultivos sucessivos podem favorecer ao aumento da acidez (LOPES et al., 1991). Os solos do Cerrado brasileiro possuem baixa fertilidade natural na sua maioria, caracterizando por serem ácidos e possuírem toxidez de manganês ou alumínio e níveis reduzidos de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (CARDOSO et al., 2015). Os Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, solos muito comuns do Cerrado, possuem baixa fertilidade natural decorrente de suas formações, o primeiro solo mencionado sofreu intenso intemperismo e o segundo é devido a composição de seu material de origem formado predominantemente por quartzo (SOUSA & LOBATO, 2004). Diante disso, esses solos mencionados tornam-se dependentes de fertilizantes químicos e corretivos (FIGUEIREDO et al., 2003).

Considerando que um solo com excesso de alumínio e baixos níveis de  $\text{Ca}^{2+}$  limita o crescimento do sistema radicular e a produtividade das culturas, é de suma importância a correção da acidez do solo para obter resultados satisfatórios na produtividade das culturas (SOUSA & LOBATO, 2004). Nesse caso, a prática da correção é uma alternativa que afeta positivamente as características físicas, biológicas e principalmente química do solo (QUAGGIO et al., 1993), sendo eficaz na neutralização de alumínio, elevação do pH e saturação por bases, contribuindo para a redução de elementos tóxicos, como Mn e o Al (MASCARENHAS et al., 1982).

Atualmente, alguns materiais vêm se destacando no favorecimento à fertilidade e qualidade de solos de maneira orgânica, como o biochar (NÓBREGA, 2011), que é um condicionador de solo (LABEGALINI, 2013). O termo biochar ou biocarvão, é empregado quando se tem a finalidade de decompor materiais orgânicos a temperaturas menores que  $700^{\circ}\text{C}$  sob a limitada presença de oxigênio para dar origem ao carvão pirogênico, processo semelhante à produção de carvão vegetal (LEHMANN & JOSEPH, 2009). O produto é rico em carbono pirogênico e pode ser obtido a partir de biomassas de madeiras, estrume e folhas (LEHMANN & JOSEPH, 2009), ou mesmo borracha, cascas, ou mesmo outros resíduos de agricultura e pecuária (NÓBREGA, 2011).

Alguns estudos mostram efeitos benéficos na qualidade do solo com a incorporação do biochar, como a melhoria nos atributos químicos devido ao aumento do pH, da capacidade de troca de cátions (GLASER, LEHMANN e ZECH, 2002) e da retenção de água (REZENDE et al., 2011), promovendo o crescimento de plantas (PETTER et al., 2012). Porém, o tipo de material e condições de processamento (em diferentes temperaturas utilizadas e tempo de pirólise) estão intimamente ligadas às características do biochar, o que interfere no seu comportamento quando adicionado ao solo (JOSEPH et al., 2010).

Diante do que foi exposto, e sendo a acidez dos solos do Cerrado um fator que limita a produção de determinadas culturas, é necessário a correção e aplicação de fertilizantes para tornar esses solos aptos para o uso agrícola. Contudo, a prática de manejo mais utilizada para a correção do pH desses solos é a calagem e poucos trabalhos mostram alternativas à calagem eficaz. Da mesma forma, são pouco os estudos na literatura que abordam o uso do biochar para a correção de solos do Cerrado. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de biochar de diferentes fontes na fertilidade de dois solos representativos da região do Cerrado.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Local de estudo

O experimento foi conduzido no Laboratório de Solos da Universidade do Estado de Mato Grosso, *campus* de Nova Xavantina-MT, localizado a latitude de  $14^{\circ} 41' 43''$  S; e longitude de  $52^{\circ} 21' 05''$  O.

### 2.2. Coleta de solos e padronização dos biochars

Foram selecionados dois solos representativos da região do Cerrado, classificados como Latossolo Amarelo (LA) e o Neossolo Quartzarênico (RQ), de acordo com Santos et al. (2018). O primeiro solo mencionado foi coletado na área experimental do *campus* de Nova Xavantina-MT e o segundo em propriedade rural em área de vegetação nativa do Cerrado no município de Nova Xavantina-MT. Ambos foram coletados nas profundidades de 0-20 cm. Posteriormente, os solos foram secos ao ar, em laboratório, e tamisados em peneiras com malha de 2 mm para a obtenção da Terra Fina seca ao Ar (TFSA).

Uma porção desses solos coletados foram encaminhadas para o laboratório Solos & Plantas para a caracterização química de acordo com o método da EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017). Os solos apresentaram características pH ácido, baixa saturação por bases (V%), elevada saturação por alumínio (m%) e baixa CTC (Tabela 1). Os solos avaliados LA e RQ foram classificados como de textura média e arenosa, respectivamente.

**Tabela 1.** Características químicas e granulométricas do Latossolo Amarelo (LA) e do Neossolo Quartzarênico (RQ) utilizados no experimento.

Solo	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	T	M.O.
			g dm <sup>-3</sup>				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				g kg <sup>-1</sup>
LA	5,0	4,0	1,0	43,9	0,16	0,09	0,57	2,4	0,4	2,8	0,93
RQ	5,2	4,3	3,1	12,5	0,43	0,10	0,17	2,1	0,6	2,7	1,27

Solo	V%	m%	Areia	Silte	Argila	B	Cu	Fe	Mn	Zn
			g kg <sup>-1</sup>			mg dm <sup>-3</sup>				
LA	12,9	61,3	815	32	153	0,13	0,2	32	7,8	0,6
RQ	20,7	23,3	950	10	40	0,11	0,2	24	6,6	0,8

P, K, Cu, Fe, Mn e Zn extraído com Mehlich; Ca, Mg e Al extraído com KCL 1 mol L<sup>-1</sup>; H+Al extraído com acetato de Cálcio a pH 7; B extraído com BaCl<sub>2</sub> 0,125% a quente. SB = soma de bases; T = Capacidade de Troca Catiônica potencial (CTC a pH7,0); M.O. = matéria orgânica; V% = saturação por bases; m% = saturação por alumínio.

As densidades das TFSA dos solos foram determinadas e obtidos os seguintes valores: 1,02 e 1,35 kg dm<sup>-3</sup> para o LA e RQ, respectivamente. Com base nessa informação, foram estimados os teores de alguns elementos e calculados soma de base e capacidade de troca catiônica com base em massa (Tabela 2). Observa-se maior acidez potencial (H+Al) e maior capacidade de troca catiônica (T) em LA quando comparados ao RQ, deixando mais evidente o maior poder tampão em LA em relação ao RQ.

**Tabela 2.** Características químicas do Latossolo Amarelo (LA) e do Neossolo Quartzarênico (RQ) utilizados no experimento com base em massa.

Solo	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	T
	g kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					
LA	1,0	43,1	0,2	0,1	0,6	2,4	0,4	2,7
RQ	2,3	9,2	0,3	0,1	0,1	1,6	0,4	2,0

P e K extraído com Mehlich; Ca, Mg e Al extraído com KCL 1 mol L<sup>-1</sup>; H+Al extraído com acetato de Cálcio a pH7,0. SB = soma de bases; T = Capacidade de Troca Catiônica potencial (CTC a pH7,0).

Foram utilizados biochar produzidos a partir de diferentes fontes de material vegetal: espécies do Cerrado (misto), casca de babaçu e casca de pinus. O biochar misto foi obtido de carvoaria da região e os dois últimos foram produzidos e fornecidos pela Empresa Alphacarbo Industrial LTDA, localizada em Guarapuava-PR. A fabricação foi feita pela ativação física através de vapor d'água superaquecido como agente oxidante e a entrada de oxigênio nos fornos de ativação. Os fornos são refratários, em formato vertical. Para boa ativação do biochar, foi utilizada a temperatura mínima de 600°C. Os fornos utilizados são autossuficientes em energia. Dessa forma, quando os materiais começam a ser ativados, é iniciada a abertura de poros, liberando pequenas moléculas que entram em combustão, liberando energia e aquecendo o forno. O tempo de ativação utilizado na fabricação do biochar variou de 4 a 6 horas. A caracterização química dos biochars foi realizada pelo laboratório AGRISOLUM Análises Agronômicas Ltda.

Na Tabela 3 consta o resultado da análise de rotina e inclui a disponibilidade de elementos extraíveis em solução Mehlich e KCl (1 M) e na Tabela 4 consta o quantitativo de elementos totais após digestão ácida. As análises foram realizadas conforme o método da EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017).

**Tabela 3.** Características químicas dos biochars de espécie florestais do Cerrado (misto), casca de babaçu e casca de pinus utilizados no experimento.

Biochar	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	t	T	V%
			mg dm <sup>-3</sup>				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
Misto	8,1	7,0	233,76	2,05	13,69	2,92	0	2,03	18,70	20,70	90,2
Casca de babaçu	10,4	10,3	1205,87	11,62	0,50	2,50	0	0,48	14,60	15,10	96,8
Casca de pinus	11,3	11,0	286,16	5,21	3,93	0,35	0	0,35	9,49	9,84	96,4

P e K extraído com Mehlich; Ca, Mg e Al extraído com KCL 1 mol L<sup>-1</sup>; H+Al extraído com acetato de Cálcio a pH 7,0; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica potencial (CTC pH7,0); V% = saturação por bases.

O biochar de casca de babaçu e pinus apresentaram maiores pH quando comparados ao biochar misto (Tabela 3). Quanto aos elementos extraíveis, os teores de fósforo (P) e potássio (K) se destacaram no biochar de casca de Pinus. Já, os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) estão em maiores quantidades no biochar misto. Para os elementos totais, o biochar misto apresentou maiores teores de nitrogênio (N) e P (Tabela 4). Por outro lado, o biochar de casa de pinus apresentou maiores teores de K, Ca e Mg.

**Tabela 4.** Elementos totais presentes no biochar de espécie florestais do Cerrado (misto), casca de babaçu e casca de pinus utilizados no experimento.

Biochar	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg <sup>-1</sup>					
Misto	8,27	3,95	0,68	14,07	1,70	6,5
Casca de babaçu	3,96	1,16	5,06	1,97	3,18	6,4
Casca de pinus	2,76	3,23	6,21	20,59	5,71	6,0

### 2.3. Incubação de solos com biochars

O biochar foi previamente tamisado em peneira de malha de 0,5 mm. O material passante foi utilizado no experimento, padronizando o biochar para tamanho de partículas < 0,5 mm. A incubação do solo com biochar em saco plástico, ocorreu entre 24/05/2019 a 22/08/2019, em delineamento experimental inteiramente casualizado. Foram avaliadas cinco doses de biochar 0; 4; 8; 16; 32 g kg<sup>-1</sup> equivalentes a 0; 8; 16; 32; 64 t ha<sup>-1</sup> para o biochar derivado de cada fonte, nos dois solos distintos supracitado (item 2.2). Portanto, foram preparados 60 misturas (5 doses x 3 tipos de biochar x 4 repetições) para cada classe de solo.

Foram utilizados 900 g de cada tipo de solo, onde foram distribuídos em sacos plásticos. Posteriormente, os tipos de biochar foram incorporados nos dois tipos de solo de acordo com a dose. Cada saquinho com a mistura biochar+solo, recebeu 100 ml de água destilada no início do experimento e foram pesados uma vez na semana para a manutenção da umidade durante os três meses de incubação.

### 2.4. Análise laboratorial e coleta de dados

As determinações do pH ocorreram em 5 épocas distintas: 0; 15; 30; 60 e 90 dias após incubação. Em todos os sessenta sacos plásticos, foram amostrados 10 cm<sup>3</sup> para se determinar o pH. As análises foram feitas pelo método de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo: líquido (água destilada ou solução de cloreto de cálcio, CaCl<sub>2</sub>, a 0,01 mol L<sup>-1</sup>) na proporção 1: 2,5 (volume: volume), conforme proposto no Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017).

Após 90 dias de incubação, nas dosagens de 0; 32 e 64 t ha<sup>-1</sup>, foram realizadas mistura e homogeneização entre as repetições e uma porção de aproximadamente 500 g foi encaminhada para análise química de rotina. A análise foi realizada pelo Laboratório Solos & Plantas, de acordo com a metodologia da EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017).

### 2.5. Análise de dados

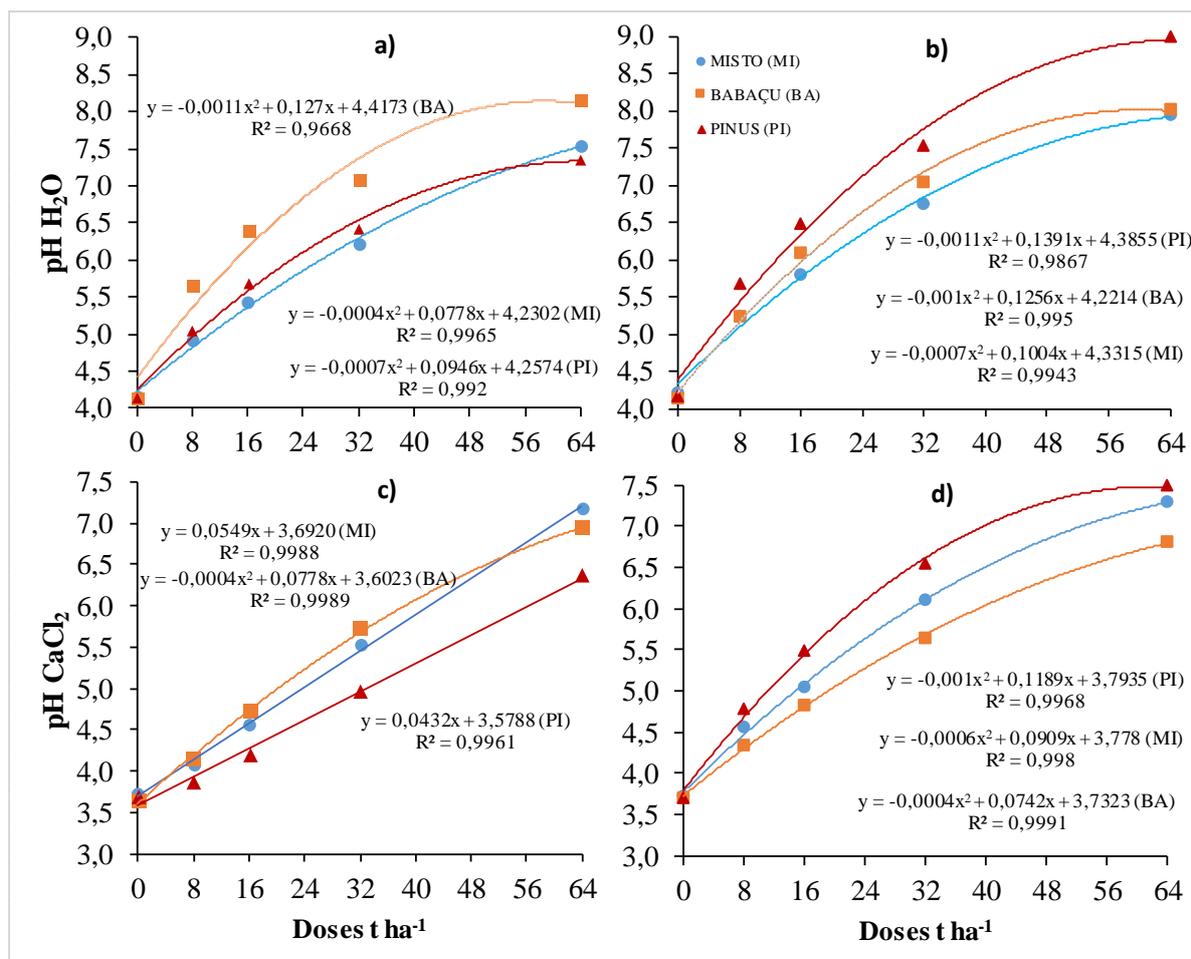
Os dados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade. Posteriormente, foram realizadas a análise de regressão para o pH aos 90 dias. A comparação de médias do tempo de reação foi realizado pelo teste Sott-Knott. Utilizou-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000) para as análises estatísticas dos dados.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Efeito das doses de biochar no pH de Latossolo Amarelo e Neossolo Quartzarênico após 90 dias de incubação

Observou-se que o aumento das doses dos biochars provenientes de diferentes materiais exerceram efeitos significativos no aumento de pH em H<sub>2</sub>O e CaCl<sub>2</sub> nos dois solos em estudo após 90 dias de incubação (Figura 1). No LA, os três diferentes biochars mostraram resposta quadrática na análise de regressão para a variável pH em água, e o que tendeu a ser mais responsivo à alteração do pH foi o biochar de casca de babaçu (Figura 1a). No pH em CaCl<sub>2</sub>, as fontes biochar misto e casca de pinus apresentaram comportamento linear (Figura 1c). Com o biochar de casca de babaçu, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou.

No RQ para as três fontes de biochar, o modelo quadrático na análise de regressão foi a que melhor se ajustou para as variáveis de pH em água e em CaCl<sub>2</sub>. Porém, o material de casca de pinus foi o que tendeu a apresentar alterações mais nítidas tanto em pH H<sub>2</sub>O quanto em pH CaCl<sub>2</sub> (Figura 1b e 1d). Para ambos os solos, o biochar misto, mesmo com pH relativamente menor em relação ao biochar de outras fontes, se mostrou bastante efetivo na elevação do pH após 90 dias de incubação.



**Figura 1.** Influência das doses de biochars provenientes de diferentes matérias-primas (espécies mistas do Cerrado, casca de babaçu e casca de Pinus) no pH em água e CaCl<sub>2</sub> (1 mol L<sup>-1</sup>) em Latossolo Amarelo (1a e 1c) e Neossolo Quartzarênico (1b e 1d) após 90 dias de incubação. Equações quadráticas ou lineares significativas a 5% de significância.

Portanto, no presente trabalho, foi observado que os biochars avaliados atuaram efetivamente na correção da acidez do solo. Vale ressaltar que diferentes texturas de solos, podem influenciar sobre a resistência do solo à alteração de pH, conforme representado na análise química do solo. Como os dois solos em estudo apresentam baixa CTC, pode-se inferir que ambos possuem baixos poder tampão. O poder tampão do solo é influenciado pelos teores e tipos de argila, matéria orgânica (M.O) e a acidez potencial. Quando comparados os dois solos, foi observado um maior aumento de pH nos RQ devido ao menor poder tampão, demonstrados pela granulometria, menor acidez potencial e menor CTC, quando comparados ao LA.

A correção da acidez do solo se dá a partir da aplicação de materiais que possuem a capacidade de neutralização da acidez, ou seja, a partir de materiais de reação básica (OH<sup>-</sup>) ou alcalina (SOUSA et al., 2007). Os mesmos autores ainda citam que ânions que são responsáveis por neutralizarem a acidez devem ser derivados de ácido fraco. Como avaliado no presente trabalho, os três biochars neutralizaram a acidez dos solos devido às suas elevadas alcalinidades. Além disso, ocorre a formação de grupos fenólicos, carboxílicos e hidroxilas carregadas eletronegativamente nas superfícies dos poros do biochar que promovem a redução dos íons H<sup>+</sup> da solução do solo (CHINTALA et al., 2014). O referido autor ainda menciona que as condições de tempo e temperatura de pirólise, tipo de matéria-prima da biomassa e a porosidade do material é um fator importante a ser mencionado, pois é a partir disto que se pode inferir se o biochar terá uma alta área de superfície, fator importante que interfere nas condições do solo, proporcionando efeitos benéficos em suas características físico-químicas.

O efeito corretivo da acidez do solo com a aplicação do biochar é devido a adição de matéria orgânica em forma de carvão, ocasionando a redução da acidez potencial (H + Al) dos solos em estudo (MADARI et al., 2006). Além disso, a presença de bicarbonatos, silicatos e carbonatos no biochar, podem fazer ligações com os íons H<sup>+</sup> da solução do solo removendo-os do complexo sortivo do solo e assim reduzindo a acidez (BATISTA, 2014). Como geralmente os solos brasileiros são ácidos, ficando com isso limitado devido à ocorrência de metais tóxicos e falta

de nutrientes, a elevação do pH com uso do biochar é uma consequência positiva, uma vez que pode produzir resultados satisfatórios na produtividade agrícola (SILVA, 2016).

O biochar pode ser utilizado na produção de hortaliças juntamente com outros substratos comerciais (PETTER, 2010). Em grandes culturas, como demonstra Petter et al. (2012) em estudo do desenvolvimento e produtividade da soja, as doses 8 e 16 t ha<sup>-1</sup> de biochar influenciam na altura e acúmulo de matéria seca da cultura. O mesmo verificou Chan et al. (2007) avaliando o efeito do biochar no rendimento de rabanetes. Os autores registraram aumento de produtividade da cultura e efeitos positivos sobre o pH do solo, a capacidade de troca de cátions e o carbono orgânico em doses maiores que 50 t ha<sup>-1</sup>.

Vale ressaltar que, o pH está intimamente ligado à disponibilidade de nutrientes. Segundo Sousa & Lobato (2004), o valor de pH em água ideal deve se encontrar no intervalo de 5,5 a 6,3 na produção de grãos para que a planta possa assimilar satisfatoriamente os nutrientes. Com a prática da calagem, que neutralizará o alumínio do solo e consequentemente elevando os teores de cálcio e magnésio, os resultados quase sempre favorecem a maioria das culturas agrícolas. Neste caso, a faixa ideal do pH do solo se encontra entre 6,0 e 6,5 (RONQUIM, 2010).

Desta forma, considerando somente o pH em água e utilizando as equações da Figura 1, a dose de biochar para elevar o pH em LA e RQ estão agrupadas na Tabela 5 é possível observar que, em LA menores doses são necessárias para atingir o pH ideal com o biochar de casca de babaçu e em RQ o biochar casca de pinus teve necessidade de menores doses.

Como reportado no presente trabalho, a elevação do pH do solo é um efeito considerado positivo, porém, segundo Albuquerque (2014), é imprescindível atenção especial para as elevações de pH a valores acima de 7,0 decorrente da aplicação do biochar no solo, pois podem gerar resultados prejudiciais em produções de determinadas culturas.

### 3.2. Atributos químicos do Latossolo Amarelo e do Neossolo Quartzarênico após 90 dias de incubação com biochar

Observou-se no presente trabalho, que as doses crescentes 0, 32 e 64 t ha<sup>-1</sup> dos três diferentes biochars em Latossolo Amarelo e Neossolo Quartzarênico, provocaram alterações nos atributos químicos do solo, além do aumento do pH em água e CaCl<sub>2</sub> (Tabela 6 e 7). Houve, uma redução da acidez trocável (Al<sup>3+</sup>) a valores de zero e da acidez potencial (H + Al) na medida em que se foi aumentando a dose. Provavelmente, os cátions Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup> reagiram com os grupos fenólicos, carboxílicos e hidroxilas carregados negativamente nas superfícies do biochar, e foram neutralizados. Verificou-se o aumento da saturação por bases (V%) à medida que se foi adicionando doses crescentes de biochar, com as maiores elevações para biochar misto e casca de pinus. O biochar de Pinus foi o menos efetivo para neutralizar o H+Al nesse solo, consequentemente, observa-se menores valores de saturação por bases (V%).

**Tabela 5.** Quantidade (t ha<sup>-1</sup>) de diferentes biochars para elevar um Latossolo Amarelo e um Neossolo Quartzarênico a pH 5,5 e 6,5

Biochar	Latossolo Amarelo	
	pH 5,5	pH 6,5
	(t ha <sup>-1</sup> de biochar)	
Misto	18,0	35,8
Casca de babaçu	9,6	20,0
Casca de pinus	15,0	31,0
Biochar	Neossolo Quartzarênico	
	pH 5,5	pH 6,5
	(t ha <sup>-1</sup> de biochar)	
Misto	12,7	26,5
Casca de babaçu	11,0	22,0
Casca de pinus	8,6	17,6

Houve um incremento de fósforo e cátions básicos (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>) no solo à medida que se aumentou as doses dos três tipos de biochar adicionados. A presença desses nutrientes no biochar (Tabela 3 e 4) mostra que o mesmo pode ser uma fonte dos mesmos. Dessa forma, as cargas negativas do solo foram ocupadas por elementos

de caráter básicos  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  presente no biochar. É possível notar ainda que o biochar de casca de pinus nas duas doses em estudo foi o que mais teve tendência em disponibilizar P, K e Mg. Comparativamente aos outros materiais de biochar, os teores desses nutrientes na forma extraível foram inferiores (Tabela 3). Portanto, a disponibilidade pode estar associada às formas totais (Tabela 4) que durante a incubação foram liberadas.

**Tabela 6.** Análise química do Latossolo Amarelo após 90 dias de incubação com três biochars provenientes de diferentes materiais.

Doses de biochar (t ha <sup>-1</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al		Al <sup>3+</sup>	m	V
							cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
Misto											
0	4,9	4,1	6,1	0,1	0,5	0,1	2,0	2,7	0,2	23,3	24,4
32	6,6	5,8	19,7	0,1	2,0	0,4	1,0	3,4	0	0	71,8
64	7,1	6,2	37,2	0,2	2,9	0,5	0,1	3,6	0	0	98,3
Casca de babaçu											
0	4,8	4,1	5,8	0,0	0,4	0,1	2,2	2,7	0,34	38,6	20,0
32	6,0	5,1	71,5	0,5	0,5	0,6	1,0	2,6	0	0	60,4
64	7,3	6,4	156,9	0,9	0,5	0,9	0,1	2,4	0	0	95,8
Casca de pinus											
0	4,6	4,0	4,7	0,0	0,5	0,1	1,8	2,4	0,26	30,6	24,6
32	6,8	6,1	40,7	0,5	1,2	0,6	0,1	2,4	0	0	94,2
64	8,0	7,1	97,9	0,8	1,7	0,8	0,1	3,3	0	0	98,5

P e K extraído com Mehlich; Ca, Mg e Al extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H+Al extraído com acetato de cálcio a pH 7; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica potencial; m%=saturação por alumínio e V% = saturação por bases.

Para o RQ todas as doses estudadas aumentaram os valores de pH confirmando os resultados da análise. Nota-se efeitos indiretos na química do solo (Tabela 7), pois houve a neutralização do Al<sup>3+</sup> trocável. Em reposta disso, a saturação por alumínio (m%) atingiu valores nulos, indicando que podem ter sido liberadas cargas negativas na fase sólida do solo para serem substituídas por elementos básicos Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup> presentes no biochar. Vale ressaltar que houve aumento na disponibilidade de P no solo em estudo devido à presença deste elemento no biochar (Tabela 3 e 4). Com esses benefícios mencionados anteriormente, a saturação por bases do solo (V%) também aumentou com os três materiais de biochar aplicados ao solo. Porém, diferentemente do que ocorreu nos LA, os maiores valores de V% foram obtidos com o biochar de casca de pinus.

**Tabela 7.** Análise química do Neossolo Quartzarênico após 90 dias de incubação com biochars produzidos à partir de diferentes materiais

Doses de biochar (t ha <sup>-1</sup> )	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P mg dm <sup>-3</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al		Al <sup>3+</sup>	m	V
							cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				
Misto											
0	4,7	3,9	0,9	0,12	0,34	0,10	2,6	3,2	0,86	60,6	17,5
32	6,6	5,7	18,8	0,39	1,60	0,50	0,9	2,8	0	0	69,6
64	7,4	6,5	34,8	0,56	1,50	0,64	0,1	2,8	0	0	96,4
Casca de babaçu											
0	4,6	3,9	1,6	0,13	0,38	0,11	2,6	3,2	0,92	59,7	19,4
32	6,6	5,8	9,8	0,19	1,85	0,37	1,3	3,7	0	0	65,1
64	7,3	6,4	21,5	0,23	2,85	0,52	0,1	3,7	0	0	97,3
Casca de pinus											
0	4,5	3,9	0,9	0,12	0,20	0,08	2,5	2,9	0,79	66,4	13,8
32	5,6	4,8	45,0	0,54	0,38	0,68	1,8	3,4	0	0	47,1
64	6,8	5,9	118,3	0,90	0,44	1,17	0,9	3,4	0	0	73,8

P e K extraído com Mehlich; Ca, Mg e Al extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; H+Al extraído com acetato de cálcio a pH 7; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica potencial; m%=saturação por alumínio e V% = saturação por bases.

Nota-se que em Neossolo, o material que tendeu a disponibilizar mais nutrientes para esse solo foi casca de babaçu para P, K e Mg. Quanto ao Ca, o biochar que disponibilizou em maiores teores foi o misto (Tabela 7). Os maiores teores desses nutrientes após incubação estão associados aos maiores teores na forma extraíveis encontrados nos diferentes tipos de biochar (Tabela 3). Isto ocorre devido ao baixo poder tampão, ou seja, baixa reatividade desses solos na interface fase sólida e solução do solo.

Como citado, houve incremento nos teores de P, tanto em LA quanto em RQ, resultados que corroboram com Silva (2016). O autor observou que em maiores doses de biochars em Latossolo os teores de P aumentaram, condição que decorre da presença desse elemento nos diferentes tipos de biochar (Tabela 3 e 4). Prakongkep et al. (2014) em estudo dos benefícios agrônômicos do biochar, mostra que esse material possui fosfato monopotássico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) sendo o P bastante solúvel na água e com alta disponibilidade. E outro fator relevante é a elevação do pH e redução da acidez potencial, condição que interfere na disponibilidade de P (SILVA, 2016).

É importante ressaltar que os diferentes materiais de biochar avaliados aqui possuem elevados valores de pH, indicando alcalinidade. Desse modo, as cargas negativas de suas superfícies possivelmente bloquearam os sítios de troca de cargas eletropositivas, evitando a adsorção do P no solo, ou complexaram os elementos Fe e Al. O fornecimento de P adicional nos solos em estudo, é um fator positivo, visto que em solos do Cerrado o P é o nutriente que mais limita produções agrícolas (MARTINS, 2018).

Houve fornecimento e disponibilização de nutrientes para os solos após a aplicação do biochar derivado das três fontes. Assim podemos inferir que o biochar tem a capacidade de ser utilizado como um tipo específico de adubo orgânico no solo. Mesmo que sutil, nota-se o aumento crescente dos cátions trocáveis (K, Ca e Mg) após a aplicação do biochar, comportamento que está de acordo com Chan et al. (2007). Tal processo é resultado da presença desses nutrientes no material adicionado, em especial nas cinzas, que são estão presentes nesses materiais. As cinzas do biochar liberam elementos de caráter básicos livres rapidamente na solução do solo, fornecendo nutrientes prontamente disponíveis para o desenvolvimento de plantas e contribuindo no aumento do pH do solo (GLASER, 2002). Esses dados corroboram com Martins (2018) que em estudo dos efeitos do biochar de cama de aviário em solos de textura arenosa, observou que a aplicação do biocarvão a 1% v/v de solo, apresentou aumento significativos no pH e em Ca, Mg, K e P. Sousa & Figueiredo (2016) observaram influência positiva na fertilidade de um Latossolo Vermelho após aplicação de doses crescentes do biochar de lodo de esgoto, sendo que na maior dose ( $100 \text{ t ha}^{-1}$ ), houve elevação dos nutrientes Ca, Mg, K e P além de benefícios na SB, V% e na CTC.

A acidez potencial (H+Al) e a saturação por alumínio (m%) reduziram conforme o aumento das doses de biochar, reação explicada pela neutralização do Al, elevação do pH e poder alcalinizante advindo desses materiais e também pelo fornecimento de elementos de caráter básicos para a solução do solo (GASKIN et al., 2008). É perceptível que em todas as doses de biochar neste estudo houve a diminuição do Al trocável devido a precipitação desse elemento com o aumento dos valores de pH através da formação de hidróxido de alumínio  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , reduzindo sua atividade e toxicidade na solução do solo (ERNANI, 2008).

O aumento da saturação por bases com a aplicação dos diferentes biochars se deve redução da neutralização da acidez trocável e potencial e em conjunto com a elevação da disponibilidade nos elementos de caráter básicos Ca, Mg e K. O aumento da saturação por bases com aplicação de biocarvão de lodo de esgoto também foi observado por Sousa & Figueiredo (2016).

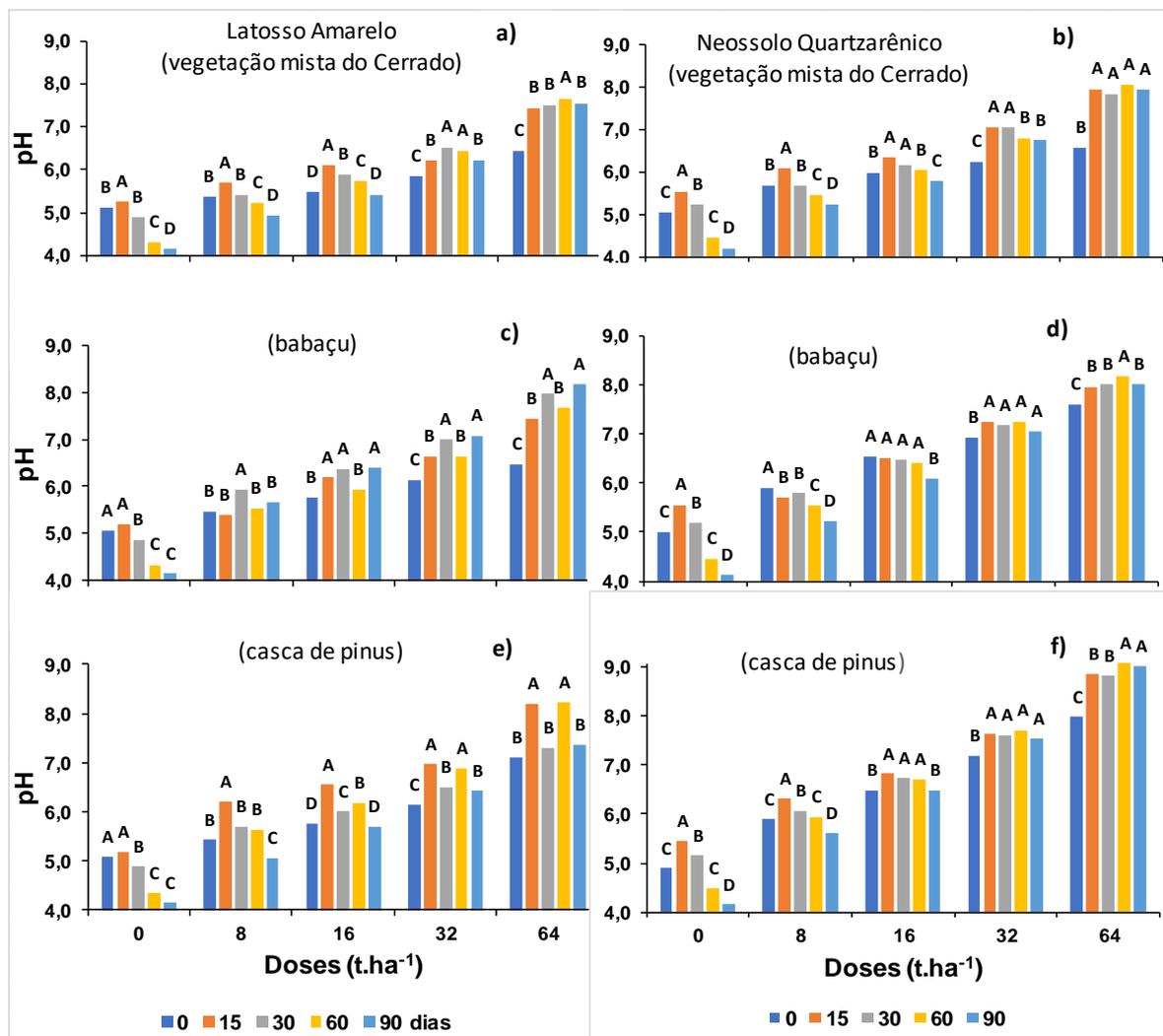
### 3.3. Tempo de reação do biochar no pH de Latossolo Amarelo e Neossolo Quartzarênico

Foi observado efeitos significativos dos tempos de reação (0, 15, 30, 60 e 90 dias) para as doses dos três diferentes fontes de biochar sobre a variável pH em água no LA e RQ (Figura 2). Em LA, a incorporação de biochar misto nas doses de 8 a 16 t/ha apresentaram seu pico de pH aos 15 dias. Com doses maiores de 32 e 64 t/ha, apesar dos picos ocorreram com 30 e 60 dias, respectivamente, a elevação de pH foi expressiva já aos 15 dias (Figura 2a).

Isso mostra o rápido efeito dos biochar no pH do solo. Após estes valores máximos, os pH decresceram à medida que o tempo foi passando, independente das doses. Porém, os decréscimos foram mais suaves a medida que as doses aumentaram. Esse decréscimo decorre da liberação intensiva de  $\text{H}^+$  provocando o aumento da  $[\text{H}^+]$  na solução do solo advindo da mineralização da matéria orgânica (PAVINATO & ROSOLEM, 2008). Em RQ, os valores máximos de pH atingiram com 15 dias independente das doses (Figura 2b). O menor poder tampão no RQ acelerou as reações mesmo nas maiores doses.

As influências do biochar de cascas de babaçu (Figura 2c) e casca pinus (Figura 2e) no pH dos LA ao longo do tempo foram bastante diferentes quando comparadas ao biochar misto (Figura 2a). Os pH dos LA quando misturados com biochar de casca de babaçu mostraram alternância de elevação aos 30 dias e declínio aos 60 e

novamente elevação aos 90 dias. Já para a casca de pinus, a elevação ocorreu aos 15 dias e posterior queda aos 30 dias, e novamente, aumento aos 60 e queda aos 90 dias.



**Figura 2.** Potencial hidrogeniônico em água (pH) em diferentes períodos (0, 15, 30, 60 e 90 dias) de incubação de um Latossolo Amarelo (LA) e Neossolo Quartzarênico (RQ) em diferentes doses de biochars. Letras iguais significa não diferença significativa para os diferentes períodos dentro de cada dose a 5% de significância.

No RQ, o biochar de casca de babaçu apresentou efeito imediato no pH, no tempo 0 (Figura 2d). Na dose 64 t ha<sup>-1</sup> o pico foi atingido aos 60 dias, porém com um aumento significativo e imediato no tempo 0. O pico de pH em RQ, quando utilizado biochar de casca de pinus, foi obtido aos 15 dias (Figura 2f). Todavia, houve uma acentuada elevação do pH já no tempo 0. Ao longo do tempo, houve um declínio no pH devido ao processo de mineralização da matéria orgânica que libera íons H<sup>+</sup>. Nas maiores doses houve uma manutenção do pH ou leve declínio devido a maiores quantidades de biochar atuando na neutralização de H<sup>+</sup>. Portanto, foi observado a rápida elevação do pH quando utilizado os diferentes biochars. A elevação se deu mais rápida em RQ quando comparadas ao LA.

Os resultados obtidos nesse experimento e de um experimento prévio, que mostraram efeitos benéficos desses biochars no crescimento inicial de plântulas de alface (CORREA et al., 2020), sugerem que os biochars avaliados apresentam boas características para melhorias das propriedades químicas do solo.

#### 4. CONCLUSÕES

O biochar derivado de diferentes fontes reduziram a acidez do solo após incubação. O biochar de casca de babaçu foi o mais efetivo em Latossolo Amarelo para a elevação do pH em água e em Neossolo Quartzarênico o biochar de casca de pinus.

Houve uma tendência para elevação dos teores de nutrientes com a aplicação de biochar nos dois solos avaliados.

De modo geral, os picos de pH foram atingidos de forma imediata ou com 15 ou 30 dias de reação.

Para seu potencial uso em lavouras se faz necessários mais estudos científicos a nível de campo para obtenção de sua interação com desenvolvimento vegetal, visando recomendações de doses de biochar para culturas agrícolas.

## REFERÊNCIAS

- ALBURQUERQUE, J.A.; CALERO, J.M.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CAMPILLO, M.C.; GALLARDO, A.; VILLAR, R. Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, n.1, p. 16-25, 2014. DOI: doi.org/10.1002/jpln.201200652
- BATISTA, I.M.P. **Recomendação de calagem para alguns solos do estado do Amazonas**. Manaus-AM: Universidade Federal do Amazonas, 2014. 46p. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical), Universidade Federal do Amazonas, 2014. <<https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/4039/2/Tese-Iza%20M%20P%20Batista.pdf>>
- CARDOSO, A.S. Efeito do biochar sobre o pH de solo tropical e temperado sob diferentes níveis de umidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais**. Natal: Centro de Convenções, 2015. p.1-3. <<https://www.sbcs.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/2464.pdf>>
- CHAN, K.Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Australian Journal of Soil Research**, v.45, p.629-634, 2007. DOI: doi.org/10.1071/SR07109
- CHINTALA, R.; SCHUMACHER, T.E.; KUMAR, S.; MALO, D.D.; RICE, J.A.; BLEAKLEY, B.; CHILOM, G.; CLAY, D.E.; JULSON, J.L.; PAPIERNIK, S.K.; GU, Z.R. Molecular characterization of biochars and their influence on microbiological properties of soil. **Journal of Hazardous Materials**, v.279, p.244-256, 2014. DOI: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.074
- CORREA, L.F.; BERTUOL, A.; USHIWATA, S.Y.; REIS, R.G.E.; MARIMON JUNIOR, B.H.; VILAR, C.C. Evaluation of the biochar quality using germination index. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.3, n.3, p.2710-2718, 2020. DOI: doi.org/10.34188/bjaerv3n3-178
- ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: Paulo Roberto Ernani, 2008. 230 p.
- FERREIRA, D.F. **SISVAR 4.3: sistema de análises de variância para dados balanceados: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos**. Lavras: UFLA/DEX, 2000. Software.
- FIGUEIREDO, M.G.; BARROS, A.L.M.; GUILHOTO, J.J.M.; SPOLADOR, H.F.S. **As Funções da Agricultura na Economia do Estado do Mato Grosso**. 2003. Disponível em <<http://www.sober.org.br/palestra/12/06O334.pdf>> Acesso em: 14 ago. 2019.
- GASKIN, J.W.; STEINER, C.; HARRIS, K.; DAS, K.C.; BIBENS, B. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v.51, p.2061-2069, 2008. DOI: 10.13031/2013.25409
- GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, p.219-230, 2002. DOI: doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4
- JOSEPH, S.D.; CAMPS, A.M.; LIN Y.; MUNROE, P.; CHIA, C.H.; HOOK, J. An investigation into the reactions of biochar in soil. **Australian Journal of Soil Research**, v.48, p.501-515, 2010. DOI: doi.org/10.1071/SR10009
- LABEGALINI, A. **Obtenção de biochar a partir da pirólise rápida da torta de pinhão manso: uso como adsorvente e suporte**. Lavras-MG: Universidade Federal de Lavras, 2013. 116p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica), Universidade Federal de Lavras, 2013. <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/1639/2/DISSERTACAO\\_Obten%C3%A7%C3%A3o%20de%20biochar%20a%20partir%20da%20pir%C3%B3lise....pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/1639/2/DISSERTACAO_Obten%C3%A7%C3%A3o%20de%20biochar%20a%20partir%20da%20pir%C3%B3lise....pdf)>
- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: an introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009. p.1-12.
- LOPES, A.S.; **Acidez do Solo e Calagem**. 3. ed. São Paulo: ANDA, 22p. 1991. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Calagem\\_boletim\\_tecnicoID-80pHHoncbJ.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Calagem_boletim_tecnicoID-80pHHoncbJ.pdf)>. Acesso em: 14 ago. 2019.
- MADARI, B.E.; COSTA, A.R.; CASTRO, L.M.; SANTOS, J.L.; BENITES, V.M.; ROCHA, A.O.; MACHADO, P.L.O.A. **Carvão vegetal como condicionador de solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo**. Comunicado Técnico 125. Goiânia, GO. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. 2006. 6 p. <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/215275/1/comt125.pdf>>
- MARTINS, C.C. **Biochar, composto orgânico e potássio nas características químicas e ixtiação de nutrientes em espodossolos e no cultivo de mucuna preta e moringa**. 2018. 126p. Tese (Doutorado em

- Produção Vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2018. <<http://uenf.br/ccta/lsol/files/2019/10/Caroline-Prof%C2%AA-Luciana.pdf>>
- MASCARENHAS, H.A.A.; BRAGA, N.R.; BATAGLIA, O.C.; BULISANI, E.A.; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R. Efeito do corretivo sobre soja cultivada em solo de cerrado contendo Al e Mn. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2. Brasília, 1981. **Anais...** Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1982. p.567-573.
- NÓBREGA, I.P.C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: sequestro de carbono no solo**. 2011. 46p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 2011. <<https://www.bibliotecaagpeta.org.br/agricultura/adubacao/EFEITOS%20DO%20BIOCHAR%20NAS%20PROPRIEDADES%20FISICAS%20E%20QUIMICAS%20DO%20SOLO%20-%20SEQUESTRO%20DE%20CARBONO%20DO%20SOLO.pdf>>
- PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo, decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.32, p.911-920, 2008. <<https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n3/a01v32n3.pdf>>
- PETTER, F.A. **Biomassa carbonizada como condicionador de solo: aspectos agrônômicos e ambientais do seu uso em solos do Cerrado**. 2010. 130p. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Goiás, 2010. <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/438/1/FABIANO%20ANDRE%20PETTER.pdf>>
- PETTER, F.A.; MARIMON, B.H.J.; ANDRADE, F.R. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de alface. **Revista Agrarian**, v.5, n.17, p.243-250, 2012. <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/1386>>
- PRAKONGKEP, N.; GILKES, R.J.; WIRIYAKITNATEEKUL W. Agronomic benefits of durian shell biochar. **Journal of Metals, Materials and Minerals**. v. 24 7-11, 2014. DOI: 10.14456/jmmm.2014.2
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. V.; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.3, 375-383, 1993. <<https://seer.sct.em.br/pab/index.php/pab/article/view/3888>>
- REZENDE, E.I.P.; ANGELO, L. C.; DOS SANTOS, S.S.; MANGRICH, A.S. Biocarvão (biochar) e sequestro de carbono. **Revista Virtual de Química**, v.3, n.5, 426-433, 2011. DOI: 10.5935/1984-6835.20110046
- RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 1.ed. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26p. <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>>
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; FILHO, J.C.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed., Brasília: EMBRAPA, 2018. 356 p. <<https://www.embrapa.br/en/solos/sibcs>>
- SILVA, I.C.B. **Atributos do solo e características agrônômicas do feijoeiro adubado com biochar**. 2016. 130p. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal) –Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/NCAP-A9FMNZ/1/dissertacao\\_isley\\_2016.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/NCAP-A9FMNZ/1/dissertacao_isley_2016.pdf)
- SOUSA, A.A.T.C.; FIGUEIREDO, C.C. Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. **Biological Agriculture & Horticulture**. v.32, p.127-138, 2016. DOI: [doi.org/10.1080/01448765.2015.1093545](https://doi.org/10.1080/01448765.2015.1093545)
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. CERRADO: Correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2004. 416 p.
- SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; LIMA, J.C. **Fertilidade do Solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1017p. 2007.
- TEIXEIRA, Y.; DONAGEMMA, G.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.; **Manual de Métodos de Análises de Solo**. Brasília DF. Embrapa. 2017. 574p. <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>