

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO

AVALIAÇÃO DE FATORES MICROBIOLÓGICOS DO SOLO E DOS EFEITOS DA
ADUBAÇÃO COM MAGNÉSIO EM CLONES DE SERINGUEIRA EM MANAUS,
AMAZONAS

ANTONIO CARLOS COSTA LINHARES

MANAUS, AMAZONAS

FEVEREIRO, 2019

ANTONIO CARLOS COSTA LINHARES

AVALIAÇÃO DE FATORES MICROBIOLÓGICOS DO SOLO E DOS EFEITOS DA
ADUBAÇÃO COM MAGNÉSIO EM CLONES DE SERINGUEIRA EM MANAUS,
AMAZONAS

ORIENTADOR: Dr. Everton Rabelo Cordeiro

CO-ORIENTADOR: Dr. Aleksander Westphal Muniz

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração Agricultura no Trópico Úmido.

MANAUS, AMAZONAS

FEVEREIRO, 2019

Folha de aprovação

A Banca Julgadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

TÍTULO: *"Efeito do magnésio na produção de seringueira na
região de Manaus, Amazonas"*

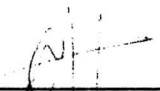
AUTOR(A):

ANTONIO CARLOS COSTA LINHARES

BANCA JULGADORA:



Dr. EDUARDO OSSAMU NAGAO (UFAM)
(Membro)



Dr. CRISTOVÃO GOMES PLACIDO JÚNIOR (IFAM)
(Membro)



Dr. ERNESTO OLIVEIRA SERRA PINTO (UFAM)
(Membro)

Manaus, 22 de fevereiro de 2019

L755a Linhares, Antonio Carlos Costa
Avaliação de fatores microbiológicos do solo e dos efeitos da adubação com magnésio em clones de seringueira em Manaus, Amazonas / Antonio Carlos Costa Linhares; orientador Everton Rabelo Cordeiro; coorientador Aleksander Westphal Muniz. -- Manaus:[s.l], 2019.
54 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós Graduação em Agricultura do Trópico Úmido) -- Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2019.

1. seringueira. 2. fisiologia do látex. 3. produção de borracha. 4. carbono microbiano. I. Cordeiro, Everton Rabelo, orient. II. Muniz, Aleksander Westphal, coorient. III. Título.

CDD: 630

A todos aqueles que têm a esperança e a força de vontade de ver do mundo um lugar melhor, com a valorização e popularização da ciência.

Dedico.

Agradecimentos

À Deus por estar presente em todos os momentos, em especial, nos mais difíceis, me dando forças durante toda caminhada da vida e permitir que eu conquistasse mais essa etapa.

Aos Drs. Everton Rabelo Cordeiro e Aleksander Westphal Muniz pela disponibilidade de orientação, paciência ao transmitirem o conhecimento durante todo esse período e também pela convivência e amizade nesse tempo que passei.

Ao meu grande amigo peludo Logan, pela companhia inseparável desde o início dessa jornada, pelos momentos de lazer que me proporcionou.

À Empresa Brasileira de Produção Agropecuária (Embrapa), por ter disponibilizado a área do seringal para que eu realizasse esse trabalho.

Ao Dr. Ronaldo Moraes pela disponibilização do laboratório de fisiologia vegetal, para a realização das análises de látex e também pela passagem de conhecimentos.

Aos funcionários Francisco Exigídras e Sérgio Silva, pela disposição e ajuda para que eu pudesse realizar essa pesquisa.

À Rayssa Gomes, pela colaboração na organização das ideias e revisão de escrita, bem como pelo carinho e companheirismo.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, pela oportunidade de participar do programa de pós-graduação em nível de mestrado, na área de concentração em Agricultura no Trópico Úmido.

Aos meus colegas de jornada por terem me acompanhado por toda essa etapa do mestrado, pela ajuda nos meus experimentos e nas trocas de conhecimentos, mas acima de tudo, pela amizade que se criou.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela disponibilidade de bolsa de estudo concedida no decorrer do mestrado.

A todos do Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido, que de alguma maneira contribuíram para que eu chegasse ao fim dessa etapa, assim como nos momentos de descontração em grupo, mas principalmente pelas amizades conquistadas nesse período.

Agradeço.

*“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei.
Se não fossem por elas, eu não teria saído do lugar.
As facilidades nos impedem de caminhar”*

Chico Xavier

Resumo

Nativa da região amazônica, a seringueira [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell. - Arg.] é a principal fonte de borracha natural. Suas características conferem superioridade na qualidade frente ao produto sintético, combinando plasticidade, impermeabilidade, isolamento elétrico, resistência a fricção e versatilidade de aplicações. Visando viabilizar a expansão das áreas de cultivo no Brasil, que já foi o maior produtor de borracha natural, estudos com melhoramento genético para obtenção de clones mais resistentes e produtivos vem sendo realizados. Entretanto, é de fundamental importância que os princípios da nutrição mineral de plantas sejam considerados ao longo desse processo. O magnésio, por exemplo, é um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, atuando ainda, nos mecanismos de defesa em situações de estresse abiótico. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo, avaliar a produção de borracha seca de três clones de seringueira e estudar o efeito da aplicação de magnésio na produtividade e nos atributos biológicos do solo. O plantio experimental de seringueira está localizado na Estação experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa CPAA, Manaus-AM. É constituído por clones oriundos de cruzamentos interespecíficos com aproximadamente 20 anos de idade. As avaliações na área foram realizadas durante o período de novembro de 2017 a julho de 2018 e a fertilização consistiu na aplicação de doses crescentes de Mg (20,25; 40,50 e 81 g planta⁻¹) nos clones, sendo a dose de 40,50 g o tratamento controle. Os painéis foram estimulados durante um período de 2 meses, e então iniciou-se a aplicação de Ethrel trimestralmente, para o início da quantificação de borracha seca. O registro da produção por clone foi realizado através da massa de látex coagulado nas tigelas, que após secagem natural tiveram a sua massa seca aferida. Foram realizadas análises de parâmetros fisiológicos do látex: concentrações de enxofre (R-Sh), fósforo inorgânico (P), sacarose (Sac), índice de ruptura de lutóides (IRL), magnésio (Mg) e conteúdo de borracha seca (DRC). Os dados experimentais foram analisados em blocos casualizados, com 3 blocos, e submetidos à análise de variância. Para a determinação da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB) e quociente metabólico (qCO₂), o solo foi coletado em profundidade de 0 – 20 cm com o auxílio de trado holandês e processado ainda em campo em peneira com malha de 4 mm e acondicionadas em sacos plásticos. Os dados experimentais foram analisados em blocos casualizados, com 4 blocos, e submetidos à análise de variância. Foram observadas correlações importantes entre variáveis relacionadas à produção de borracha seca (fósforo inorgânico e tióis) e escoamento de látex (sacarose e concentrações de magnésio) na dose 81 g planta⁻¹ para o clone CPAA C01. Quanto às análises microbiológicas, foi observado, através dos valores de qCO₂, que o clone CPAA C01 apresenta maior equilíbrio e menor perda de CO₂ para a atmosfera em comparação aos clones CPPA C06 e CPAA C45. Nas condições experimentais avaliadas, a aplicação de sulfato de magnésio como fator isolado, não afetou a produtividade de borracha seca dos clones de seringueira estudados, entretanto, é uma prática necessária para a reposição dos nutrientes retirados do solo quando da exploração do seringal.

Palavras-chave: *Hevea brasiliensis*, fisiologia do látex, *Microcyclus ulei*, microbiologia do solo.

Abstract

Native to the Amazon region, the rubber tree [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell. - Arg.] is the main source of natural rubber. Its characteristics confer superiority in quality against the synthetic product, combining plasticity, impermeability, electrical insulation, resistance to friction and versatility of applications. Aiming to make possible the expansion of cultivated areas in Brazil, which was already the largest producer of natural rubber, studies with genetic improvement to obtain clones more resistant and productive have been carried out. However, it is of fundamental importance that the principles of plant mineral nutrition be considered throughout this process. Magnesium, for example, is an essential element for the growth and development of plants, also acting in defense mechanisms in situations of abiotic stress. In this sense, the present study aimed to evaluate the dry rubber production of three rubber tree clones and to study the effect of the application of magnesium on soil productivity and biological attributes. The experimental planting of rubber tree is located in the experimental station of the Brazilian Agricultural Research Corporation – Embrapa CPAA, Manaus – AM. It consists of clones originating from interspecific crosses with approximately 20 years of age. The evaluations in the area were carried out during the period from November 2017 to July 2018 and fertilization consisted in the application of increasing doses of Mg (20,25; 40,50 and 81 g plant⁻¹) in the clones, with the dose of 40,50 g treatment control. The panels were stimulated over a period of 2 months, and then the application of Ethrel was started quarterly for the beginning of quantification of dry rubber. The production record per clone was performed through the mass of latex coagulated in the bowls, which after natural drying had their dry mass measured. Latex physiological parameters were analyzed: concentrations of sulfur (R–Sh), inorganic phosphorus (P), sucrose (Sac), lutein rupture index (IRL), magnesium (Mg). The experimental data were analyzed in randomized blocks, with 3 blocks, and submitted to analysis of variance. For the determination of the microbial biomass (BMC), basal respiration (RB) and metabolic quotient (qCO₂), the soil was collected in depth of 0 – 20 cm with the aid of Dutch soil and processed in the field in a 4 mm and packed in plastic bags. The experimental data were analyzed in randomized blocks, with 4 blocks, and submitted to analysis of variance. Significant correlations were observed between variables related to dry rubber production (inorganic phosphorus and thiols) and latex flow (sucrose and magnesium concentrations) at the 81 g plant⁻¹ dose for the CPAA clone C01. Regarding the microbiological analyzes, it was observed, through the values of qCO₂, that the CPAA C01 clone presents a higher balance and lower CO₂ loss to the atmosphere compared to the CPPA C06 and CPAA C45 clones. In the evaluated experimental conditions, the application of magnesium sulphate as an isolated factor did not affect the dry rubber productivity of the studied rubber tree clones, however, it is a necessary practice for the replacement of the nutrients removed from the soil when the rubber tree is harvested.

Key-words: *Hevea brasiliensis*, latex physiology, *Microcycclus ulei*, soil microbiology.

Sumário

Resumo	v
Abstract.....	vi
Lista de figuras.....	viii
Introdução.....	9
Objetivos.....	11
Geral.....	11
Específicos	11
Material e métodos.....	12
Descrição da área de estudo	12
Material vegetal estudado e aplicação de tratamentos.....	13
Coleta de dados.....	14
Produção de borracha seca.....	14
Biomassa microbiana e respiração do solo.....	15
Determinação do C orgânico	16
Determinação da RBS e qCO_2	17
Capítulo I.....	18
Capítulo II.....	31
Síntese (conclusão geral).....	46
Referências bibliográficas	47

Lista de figuras

Figura 1: Posição geográfica da área de estudo, localizada no campus experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, Amazonas – Brasil.	12
Figura 2: Regime pluviométrico e variação da temperatura durante o período experimental.	13
Figura 3: Fluxograma para a coleta de látex durante o período experimental	14
Figura 4: Fluxograma para a determinação do carbono orgânico, umidade e respiração do solo	15
Figura 5: Correlação entre o Carbono e os atributos microbiológicos do solo em áreas com seringueira e floresta secundária em Manaus–AM.	30
Figura 6: Correlação entre a produção de borracha seca e os atributos fisiológicos do látex de seringueira em Manaus – AM.	45

Introdução

Pertencente ao gênero *Hevea*, a seringueira é um exemplar de Euphorbiaceae, sendo a espécie *Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell. – Arg., a mais importante do gênero composto por 11 espécies. É originária da Bacia Amazônica e principal fonte de borracha natural do mundo, sendo cultivada em larga escala, principalmente em países asiáticos (Gonçalves *et al.*, 2002). As sementes das quais a maioria dos materiais de plantio atuais são derivados, foram coletadas por Henry Wickham em 1876 de uma pequena área no Alto Amazonas. A fim de aumentar a base genética para reprodução, um consórcio industrial iniciou outra expedição em 1981 e coletou mais de 10 mil novos acessos ao sul e sudoeste do rio Amazonas (Heng e Joo, 2017).

Depois de sua “descoberta” pelos europeus nas Américas como um material inovador, foi introduzida na Europa em 1744 por Charles Marie de la Condamine. Sua capacidade de “apagar” lápis foi notada por Joseph Priestly, que cunhou o nome inglês de "rubber" em 1770. Sua óbvia natureza hidrofóbica levou à sua utilização na fabricação de roupas e calçados impermeáveis para o mercado europeu (Cornish, 2017). Desde então, a borracha natural tem sido um bem essencial não apenas para a indústria de pneus, mas também para mais de 50.000 produtos que mantêm a elasticidade como um atributo (Priyadarshan, 2017).

A borracha natural é um elastômero com longas cadeias de poli-isopreno sintetizadas por algumas plantas. Existe cerca de 20 mil espécies de plantas produtoras de borracha no mundo, mas somente *H. brasiliensis* tem sido domesticada e cultivada comercialmente na Ásia e na África como fonte primária de borracha natural (Lewinsohn, 1991).

O látex é encontrado em todas as partes da planta de *H. brasiliensis*, e sua exploração é realizada através da abertura de painéis no tronco com uma faca especial de corte em intervalos regulares. Os cortes são realizados em sistema de meia espiral com inclinação de cerca de 30° da esquerda para a direita, visando cortar o número máximo de vasos laticíferos. Após cerca de 5 anos de exploração, deve-se realizar a exploração do painel do outro lado da árvore, na mesma altura do primeiro (Heng e Joo, 2017).

Para uma prática agrícola bem-sucedida e um ótimo manejo de nutrientes das culturas, os princípios fundamentais da nutrição mineral de plantas devem ser considerados, tais como processos físicos, químicos e biológicos em plantas e solos (Senbayram *et al.*, 2015). O magnésio (Mg) está envolvido em muitos processos fisiológicos e bioquímicos, sendo um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Desempenha ainda, papel fundamental nos mecanismos de defesa das plantas em situações de estresse abiótico (Cakmak, 2013; Gransee e Führs, 2013; Huber e Jones, 2013; Mengutay *et al.*, 2013).

O Mg tem sido bastante descrito por seu papel importante na síntese de clorofila. Além disso, atua em vários processos fisiológicos de plantas através de sua função chave na carga do floema, sendo cofator e modulador alostérico para mais de 300 enzimas (incluindo o ciclo de Calvin, quinases, RNA polimerases e ATPases) e em quelação e formas de fosfato de nucleotídeos (Cowan, 2002; Shaul, 2002; Verbruggen e Hermans, 2013).

Quando ocorre deficiência de Mg nos estágios iniciais, há prejuízo no carregamento do floema e acúmulo de carboidratos nas folhas, causando a diminuição da fixação de CO₂ pela ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) (Senbayram *et al.*, 2015), Isso ocorre através de dois mecanismos principais: (i) inibição da síntese de sacarose e (ii) acúmulo de amido no cloroplasto, afetando a condutância de CO₂ da membrana e causando menor pressão parcial de CO₂ no sítio catalítico da Rubisco (Araya *et al.*, 2006). Devido aos seus papéis fundamentais nas plantas, a nutrição com Mg afeta a resistência das culturas à maioria dos estresses abióticos e bióticos, tanto direta quanto indiretamente.

Objetivos

Geral

Avaliar a produção de borracha seca de três clones de seringueira e estudar o efeito da aplicação de magnésio na produtividade de borracha seca e nos atributos biológicos do solo cultivados com diferentes clones de seringueira.

Específicos

Identificar o clone que apresenta melhor produção, com base nos valores de coágulos obtidos ao longo do ciclo de produção.

Determinar a ocorrência de correlações entre a produção de borracha seca e parâmetros fisiológicos do látex.

Analisar a influência do clone nos atributos biológicos do solo, comparados aos atributos de floresta adjacente.

Material e métodos

Descrição da área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido em um plantio experimental de seringueira com 20 anos de idade, localizado no município de Manaus, Amazonas, Estação experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Amazônia Ocidental CPAA), km 30, rodovia AM-010. As coordenadas geográficas da área experimental são 02°53'29,14" S e 59°58'39,90" W (figura 01).

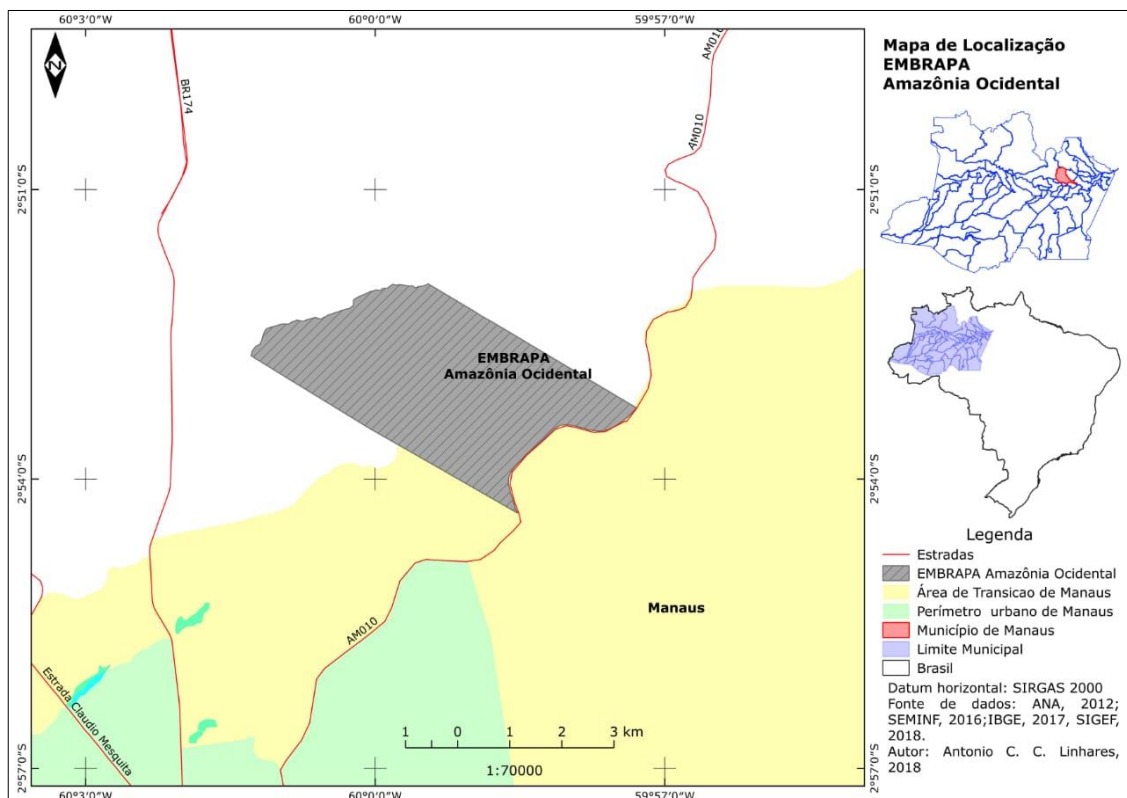


Figura 1: Posição geográfica da área de estudo, localizada no campus experimental da Embrapa Amazônia Ocidental, Amazonas – Brasil.

O clima da região é do tipo Afi, conforme classificação de Köppen, com ocorrência de chuvas abundantes ao longo de todo o ano, com média de 2.300 mm ano⁻¹, umidade do ar em torno de 80% e temperatura média de 26 °C (Alvares *et al.*, 2013). O solo é um Latossolo Amarelo de acordo com a interpretação dos resultados de análise (Embrapa, 2017).

Os dados climáticos do período experimental foram obtidos pela estação Meteorológica da Embrapa, situada no mesmo campus. Os dados analisados foram:

temperaturas mínima, média e máxima e precipitação pluviométrica, como podem ser visualizados na figura 2.

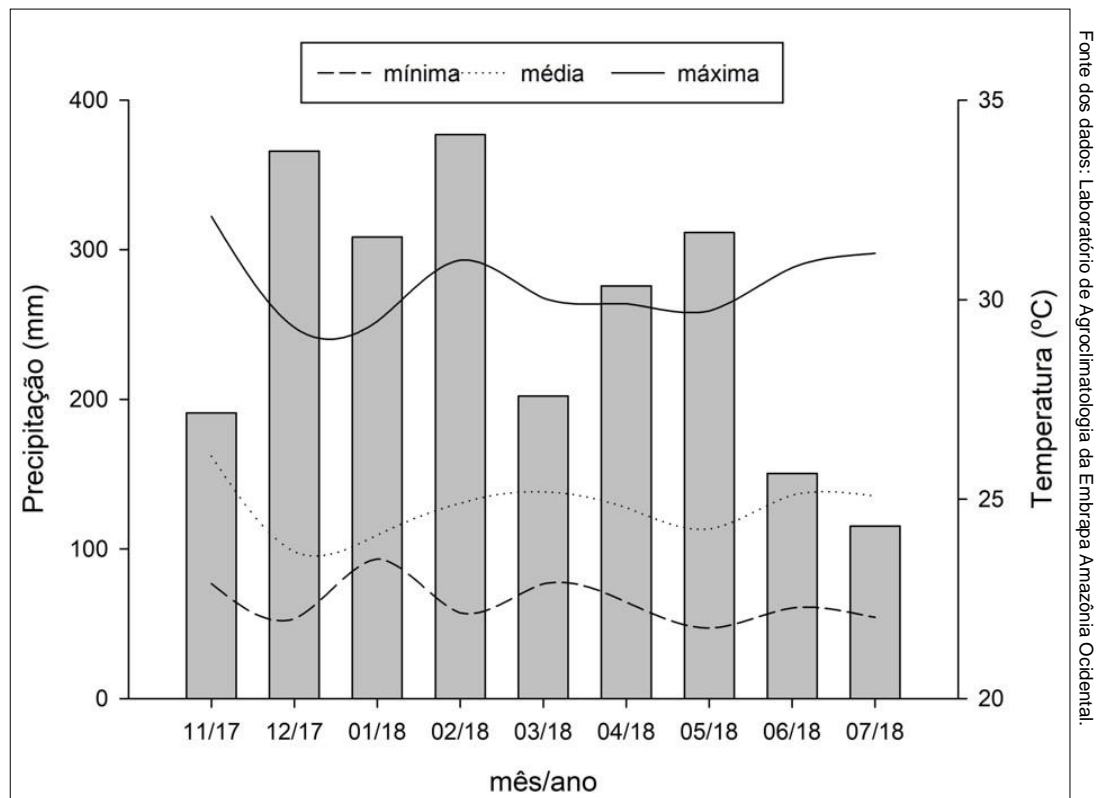


Figura 2: Regime pluviométrico e variação da temperatura durante o período experimental.

As avaliações no plantio foram realizadas durante o período de novembro de 2017 a julho de 2018, para verificar o efeito da aplicação de sulfato de magnésio (9% de Mg) em parâmetros fisiológicos de látex e produtivos de borracha seca, bem como sua relação sobre a biomassa microbiana do solo. As árvores utilizadas neste estudo foram submetidas a estimulação de Ethrel® (Domiciano *et al.*, 2018), aplicado no painel de sangria em concentração de 2,5% com intervalo de 3 meses entre as aplicações.

Material vegetal estudado e aplicação de tratamentos

O plantio utilizado no desenvolvimento desta pesquisa, é constituído por clones oriundos de cruzamentos interespecíficos. Os indivíduos deste plantio foram obtidos através da técnica de enxertia dupla (copa sobre painel (CNS AM 7905) sobre sistema radicular). Neste ambiente já foram realizados outros estudos com a espécie, culminando em suporte para este trabalho.

Foram estudadas três combinações de copas de seringueira tricomposta enxertadas em painel CNS AM 7905 com aproximadamente 20 anos de idade como

segue: CPAA C 01 [*H. guianensis* (Hgm 1) x *H. pauciflora* (CNS G 112)]; CPAA C 06 [*H. pauciflora* (CNS G 124) x *H. rigidifolia* (CNS NA 8105)] e CPAA C 45 [*H. guianensis* (Hgm 16) x *H. pauciflora* (CBA 1)].

Afim de conhecer o estado nutricional das plantas, procedeu-se coleta de material vegetal (Bataglia *et al.*, 1988), para a realização de análise foliar, cuja determinação de macro e micronutrientes foi realizada segundo Embrapa (2009). A fertilização estudada ocorreu na forma de aplicação de doses crescentes de Mg (20,25 g, 40,50 g e 81 g planta⁻¹) nos clones estudados, sendo a dose de 40,50 g o tratamento controle (Moreira *et al.*, 2014), os painéis foram estimulados durante um período de 2 meses com sangrias semanais não quantificadas, após este período, iniciou-se a aplicação de Ethrel trimestralmente, quando então, deu-se início à quantificação de borracha seca. O sistema de sangria adotado foi o de meia espiral a cada sete dias (d7).

Coleta de dados

Foram conduzidos experimentos independentes e a coleta de dados para cada um destes experimentos está descrita nos itens a seguir.

Produção de borracha seca

Os dados de produção de borracha seca foram registrados a partir do mês de novembro de 2017 até o mês de julho de 2018, sendo as sangrias realizadas sempre no início da manhã, iniciando o processo sempre até as 7:30 horas, já que a pressão decrescente do turgor e a taxa de fluxo do látex reduzem significativamente o rendimento ao longo do dia, conforme descrito na figura 3. O processo foi completado sempre antes das 9:00 horas, permitindo que o látex fluísse por pelo menos 2 horas (Heng e Joo, 2017).

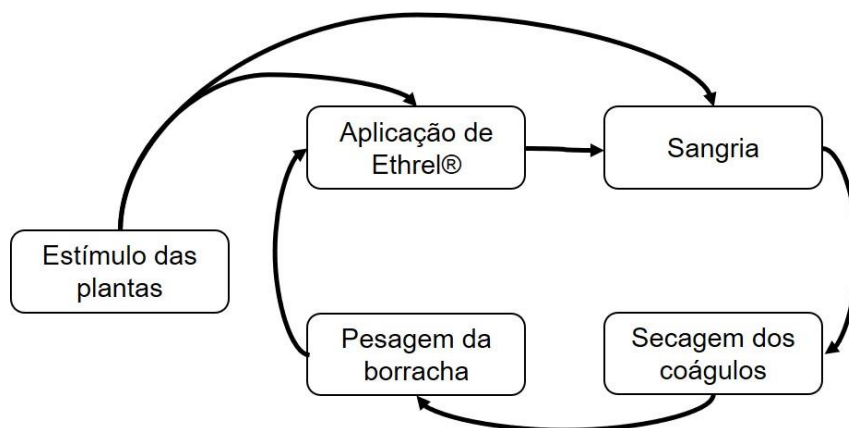


Figura 3: Fluxograma para a coleta de látex durante o período experimental.

Ao final de cada mês, os arames com os coágulos eram retirados, identificados com placas de alumínio e dispostos em zona abrigada das chuvas, onde permaneciam durante todo o mês seguinte para secagem ao ar. Decorrido este processo, realizou-se a pesagem com balança analógica de prato, anotando-se as informações dos indivíduos correspondentes. A partir desses dados estimou-se a produção por clone $\text{hectare}^{-1} \text{ano}^{-1}$, seguindo recomendações da Embrapa (1989).

Biomassa microbiana e respiração do solo

Para a determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB) e quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), o solo foi coletado em profundidade de 0–20 cm com o auxílio de trado holandês e as amostras foram processadas ainda em campo com auxílio de peneira com malha de 4 mm. Foram, então acondicionadas em sacos plásticos com capacidade para 2 kg, onde cada amostra composta foi constituída por quatro amostras simples, coletadas sob a projeção da copa dos indivíduos estudados. O material foi transportado até o laboratório de solos da Embrapa, onde foram realizados os procedimentos descritos na figura 4.

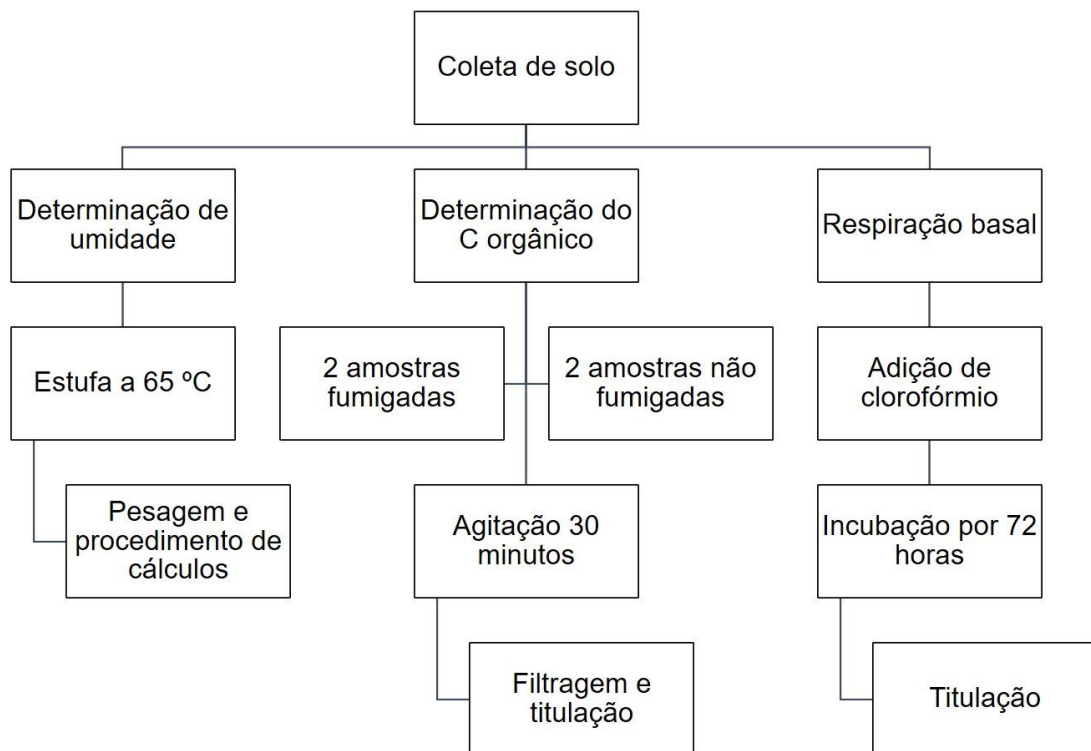


Figura 4: Fluxograma para a determinação do carbono orgânico, umidade e respiração do solo

O CBM foi determinado pelo método de fumigação extração (Jenkinson e Powlson, 1976), a RB pelo método proposto por Alef (1995) e o $q\text{CO}_2$ através da metodologia de (Anderson e Domsch, 1990), foram comparados os valores da área

sob cultivo de seringueira depois da aplicação de doses crescentes de Mg e uma área de floresta secundária, contígua ao plantio de seringueira.

Determinação do C orgânico

As amostras foram divididas em 5 subamostras de 20 g cada, acondicionadas em recipientes de vidro com capacidade para 100 mL e foram assim designadas: uma para determinação da umidade do solo, duas para o processo de fumigação e duas não fumigadas. Às subamostras fumigadas foi adicionado 1 mL de clorofórmio e deixadas em repouso pelo período de 24 horas ao abrigo de luminosidade com tampa de vedação. Após este período, foram abertas em capela de exaustão para evaporação do clorofórmio residual (Silva *et al.*, 2007).

Ao conjunto de amostras fumigadas e não-fumigadas, foi adicionado 50 mL de K₂SO₄ (sulfato de potássio) 0,5 M e submetidas à agitação por 30 minutos à 220 RPM, seguido de repouso por 30 minutos e posterior filtragem em filtros de papel, foi retirada uma alíquota de 8 mL deste filtrado e transferido para Erlenmeyer com capacidade para 250 mL, onde foram adicionados 2 mL de K₂Kr₂O₇ (dicromato de potássio) 0,066 M, 10 mL de H₂SO₄ (ácido sulfúrico) e 5 mL de H₃PO₄ (ácido orto-fosfórico) e, após resfriamento, 70 mL de água destilada, e 4 gotas de ((C₆H₅)₂NH) difenilamina 1% (m/v) em H₂SO₄, seguido de titulação com [(NH₄)₂Fe(SO₄)₂.6H₂O] (sulfato ferroso amoniacal) 0,33 M. O ponto estequiométrico da reação ocorre de púrpura para verde escuro (Silva *et al.*, 2007).

Após a titulação, calculou-se: a umidade do solo (eq. 1) a molaridade exata do [(NH₄)₂Fe(SO₄)₂.6H₂O] (eq. 2), teor de carbono nos extratos (eq. 3) e carbono da BMS (eq. 4):

$$eq. 1 \quad u(\%) = \frac{Pu - Ps}{Pu} * 100$$

Onde: Pu = massa do solo úmido; Ps = massa do solo seco.

$$eq. 2 \quad M = \frac{[(M_2 - V_2) * 6]}{V_1}$$

Onde: M₂ = molaridade do dicromato de potássio; V₁ = volume da alíquota de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra controle; V₂ = volume da alíquota de dicromato de potássio utilizada; 6 = razão estequiométrica do dicromato de potássio.

$$eq. 3 \quad C (mg C kg^{-1} solo) = \frac{(V_b - V_a) * M * 0,003 * V_1 * 10^6}{Ps * V_2}$$

Onde: V_b = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra controle; V_a = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra; M = molaridade exata do sulfato ferroso

amoniacal; V_1 = volume de solução de sulfato de potássio utilizado; V_2 = alíquota pipetada do extrato para a titulação; 0,003 = miliequivalente do carbono; P_s = massa do solo seco.

$$eq. 4 \quad CBM (mg C mic kg^{-1} solo) = FC * k_c^{-1}$$

Onde: FC = diferença obtida entre a quantidade de C da eq. 3, recuperada no extrato da amostra fumigada e a recuperada na amostra não fumigada e $k_c = 0,33$.

Determinação da RBS e qCO_2

As amostras compostas foram divididas em 2 subamostras de 20 g cada (Alef, 1995), acondicionadas em recipientes de vidro com capacidade para 100 mL e foram submetidas à incubação com solução de hidróxido de sódio (NaOH). As subamostras incubadas, já em recipientes de vidro, foram acondicionadas em outro recipiente, também de vidro, que continha 10 mL de NaOH 1 M, onde permaneceram fechados hermeticamente e ao abrigo da luz por 72 horas.

Após o processo de incubação, foi adicionado 2 mL de $BaCl_2$ (cloreto de bário) 10% (m/v), para completa precipitação do CO_2 , 2 gotas de fenolftaleína 1% (m v⁻¹), seguido de titulação com HCl (ácido clorídrico) 0,05 M. O ponto estequiométrico da reação ocorre de rosa para incolor (Alef, 1995).

Linhares, A.C.C.; Cordeiro, E.R. & Muniz, A.W. 2019. Efeito do cultivo de diferentes clones de seringueira nos atributos biológicos do solo em Manaus-AM. Manuscrito em preparação para *Scientia Forestalis*

1 Efeito do cultivo de diferentes clones de seringueira nos atributos biológicos do solo
2 em Manaus–AM

3 Effect of the cultivation of different rubber tree clones on the soil biological attributes in
4 Manaus–AM

5 **Resumo:** O sistema de uso do solo pode auxiliar na produção agrícola sustentável,
6 buscando a compreensão da interação entre microorganismos e plantas e
7 determinando que mecanismos podem contribuir para a melhoria de atributos
8 biológicos do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do cultivo de
9 diferentes clones de seringueira nos atributos biológicos do solo. Os dados foram
10 coletados no período de março de 2018, em áreas cultivadas com três clones de
11 seringueira e floresta secundária e as variáveis analisadas foram: carbono total do
12 solo (C); carbono da biomassa microbiana (CBM); respiração basal (RB) e quocientes
13 metabólico (qCO_2) e microbiano ($qMic$). Não houve diferença estatística para a
14 concentração de carbono total, as maiores concentrações de CBM foram observadas
15 na área de floresta, seguida pelo clone CPAA C01, a RB foi superior na área de
16 floresta; os dados de qCO_2 e $qMic$, sugerem que menores perdas de CO_2 para a
17 atmosfera são encontrados para o CPAA C01 em comparação aos demais clones e
18 os resultados indicaram que o cultivo do clone CPAA C01 é uma boa alternativa para
19 a recuperação e manutenção de atributos biológicos do solo na região de Manaus.

20 **Palavras-chave:** respiração basal, quociente metabólico, *Hevea brasiliensis*.

21 **Abstract:** The land use system can help in sustainable agricultural production, seeking
22 to understand the interaction between micro-organisms and plants and determining
23 which mechanisms may contribute to the improvement of soil biological attributes. The
24 objective of this work was to evaluate the effects of the cultivation of different rubber
25 tree clones on the soil biological attributes. The data were collected in the period of
26 March 2018, in areas cultivated with three clones of rubber tree and secondary forest,
27 the variables analyzed were: total soil carbon (C); microbial biomass carbon (CBM);
28 basal respiration (RB) and metabolic (qCO_2) and microbial ($qMic$) quotients. There was
29 no statistical difference for the total carbon concentration, the highest concentrations
30 of CBM were observed in the forest area, followed by clone C01, the RB was higher in
31 the forest area; the data of qCO_2 and $qMic$ suggest that lower CO_2 losses to the
32 atmosphere are found for C01 in comparison to the other clones and the results
33 indicated that the cultivation of clone C01 is a good alternative for the recovery and
34 maintenance of soil biological attributes in the region of Manaus.

35 **Key-words:** basal respiration, metabolic quotient, *Hevea brasiliensis*.

36 **Introdução**

37 A fertilidade do solo é mediada principalmente por microrganismos, através de
38 seus papéis importantes no ciclo de nutrientes, especialmente em afetar o volume de
39 matéria orgânica (Bowles *et al.*, 2014; Yuan *et al.*, 2017). Durante a decomposição da
40 matéria orgânica, as atividades microbianas do solo podem ser responsáveis pelo
41 acúmulo e decomposição do carbono orgânico (Zhou *et al.*, 2013). Os processos
42 microbianos são afetados pelas práticas agrícolas, devido à mudanças na quantidade
43 e qualidade dos resíduos de culturas devolvidos ao solo e à variações nas condições

44 físico-químicas (Ding *et al.*, 2011). Como resultado, entender a contribuição relativa
45 dos importantes fatores reguladores da atividade microbiana do solo é necessário
46 para outras previsões de ciclagem de carbono em resposta aos manejos agrícolas.

47 A qualidade do solo pode ser definida como a sua capacidade de sustentar a
48 produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde animal e
49 vegetal (Araújo *et al.*, 2008). O monitoramento desta qualidade pode ser realizado
50 através de indicadores microbiológicos, como a atividade e a biomassa microbiana.
51 Estes indicadores podem fornecer informações sobre a dinâmica da matéria orgânica
52 e, conseqüentemente, refletir sobre tendências de mudanças que estão ocorrendo em
53 curto e longo períodos (d'Andréa *et al.*, 2004; Araújo *et al.*, 2008).

54 O Brasil é um dos países que mais contribuem para a antropogênese e
55 emissões de gases de efeito estufa (GEE) e 75% das emissões de CO₂ resultam do
56 desmatamento e operações agrícolas (Cerri *et al.*, 2007). Entre as principais
57 atividades agrícolas, as operações de preparo do solo aceleram as emissões de CO₂
58 e, conseqüentemente, perdas de carbono para a atmosfera (Rakotovao *et al.*, 2017).
59 Neste contexto, o acúmulo de carbono em sistemas agrícolas é uma estratégia
60 promissora para a manutenção do sequestro de CO₂ atmosférico (Dossou-Yovo *et al.*,
61 2016).

62 Na era da produção agrícola sustentável, a interação entre microorganismos e
63 plantas, desempenham um papel essencial na mobilização de nutrientes, e
64 subseqüentemente a absorção destes pelas plantas para desenvolver todo o seu
65 potencial genético. O uso de abordagens biológicas está se tornando mais popular
66 para melhorar o rendimento das culturas em um sistema integrado de gerenciamento
67 de nutrientes de plantas (Lucas *et al.*, 2014). O objetivo desse trabalho foi avaliar os
68 efeitos do cultivo de diferentes clones de seringueira nos atributos biológicos do solo
69 em Manaus – AM.

70 **Material e métodos**

71 O presente estudo foi desenvolvido em um plantio experimental de seringueira
72 com 20 anos de idade, localizado no município de Manaus, Amazonas, Estação
73 experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Amazônia
74 Ocidental CPAA), km 30, rodovia AM-010. As coordenadas geográficas da área
75 experimental são 02°53'29,14" S e 59°58'39,90" W.

76 O clima da região é do tipo Afi, conforme classificação de Köppen, com
77 ocorrência de chuvas abundantes ao longo de todo o ano, com média de 2.300 mm

78 ano⁻¹, umidade do ar em torno de 80% e temperatura média de 26 °C (Alvares *et al.*,
79 2013). O solo é um Latossolo Amarelo de acordo com a interpretação dos resultados
80 de análise (Embrapa, 2017). As amostras foram coletadas em área cultivada com
81 seringueira e na floresta secundária adjacente. Na área de seringueira, foram
82 cultivados três diferentes clones: CPAA C01, CPAA C06 e CPAA C45. A floresta
83 secundária apresentava um estágio avançado de regeneração. A seringueira foi
84 plantada em 1999 dentro do programa de melhoramento genético da Embrapa. Foram
85 coletadas três amostras compostas de solo na área de cultivo de cada clone e na
86 floresta secundária.

87 Para a determinação da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB) e
88 quociente metabólico (qCO₂), o solo foi coletado em profundidade de 0–20 cm com o
89 auxílio de trado holandês e processadas ainda em campo com auxílio de peneira com
90 malha de 4 mm e acondicionadas em sacos plásticos com capacidade para 2 kg. Cada
91 amostra composta foi constituída por quatro amostras simples, coletadas sob a
92 projeção da copa dos indivíduos estudados.

93 A determinação das características microbiológicas foi realizada através da
94 análise dos seguintes atributos do solo: CBM, através do método de fumigação-
95 extração (Jenkinson e Powlson, 1976); RB, através do método descrito por (Alef,
96 1995), onde o CO₂ é capturado em uma solução de hidróxido de sódio e titulado em
97 uma solução de ácido clorídrico; o qCO₂ foi obtido através da razão entre a RB e a
98 CBM, conforme (Anderson e Domsch 1985, 1990) e o quociente microbiano (qMIC),
99 pela razão entre a CBM e o Carbono Orgânico Total do solo.

100 Os dados experimentais foram analisados em blocos casualizados, com 3
101 repetições, e submetidos à análise de variância. Todos os pressupostos foram
102 avaliados. A normalidade do erro foi avaliada pelo teste de Shapiro Wilk e a
103 homogeneidade da variância pelo teste de Levene. Quando as diferenças foram
104 significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (p<0,05).

105 **Resultados e discussão**

106 Os resultados mostraram maiores concentrações de carbono acumulado no
107 solo cultivado com o clone CPAA C01 em relação aos demais solos analisados
108 (Tabela 01). Os valores de carbono observados nos solos cultivados com os clones
109 CPAA C06 e CPAA C45 foram semelhantes entre si e maiores que na área de floresta
110 (FLO), entretanto os resultados de carbono aqui observados, não apresentaram
111 diferenças estatísticas.

112 Os valores de CBM corroboram os dados de (Zhang *et al.*, 2007; Pegoraro *et*
113 *al.*, 2011; da Silva *et al.*, 2012; Carneiro *et al.* 2013; Lan *et al.*, 2017) que avaliaram
114 efeito do uso do solo na comunidade microbiana do solo e quantificaram maiores
115 teores de C da biomassa microbiana em área de pastagem em relação a áreas de
116 cultivo de seringueira, floresta, plantio de eucalipto e área de integração lavoura
117 pecuária. Alves *et al.*, (2011) estudando efeito do plantio direto sobre a qualidade do
118 solo, quantificaram maiores teores de C da biomassa microbiana no plantio direto em
119 relação à área de floresta. Na literatura é citada a influência do sistema radicular das
120 gramíneas na melhoria de atributos relacionados à qualidade do solo, dentre eles a
121 incorporação de C (Loss *et al.*, 2010; Pereira *et al.*, 2010).

122 Em áreas cultivadas com seringueira em florestas tropicais na China (Lan *et al.*,
123 2017; Zhao *et al.*, 2018), observaram resultados similares aos encontrados neste
124 estudo para a CBM entre as áreas de florestas e cultivos de seringueira, indicando
125 que o aumento da taxa de CBM depende da quantidade e qualidade do material
126 vegetal depositado no solo, bem como sua taxa de decomposição. Desta forma, o
127 material vegetal deve ser variável em função do tempo, principalmente devido ao
128 estabelecimento de relações ecológicas entre as plantas cultivadas e a microbiota do
129 solo, ao contrário de vegetações já estabelecidas, onde a deposição desse material
130 vegetal tende a ser estável.

131 Os resultados da atividade da biomassa microbiana do solo podem estar
132 relacionados diretamente ao sistema de uso da terra utilizado, podendo potencializar
133 de maneira positiva ou negativa as concentrações de carbono no solo (Birge *et al.*,
134 2015). Os resultados do CBM na floresta foram maiores em relação aos clones
135 estudados, e diferiram estatisticamente (Tabela 1). As camadas superficiais do solo
136 são as mais prejudicadas pelo uso da terra, pois é onde está retido grande parte do C
137 que está associado aos atributos microbiológicos. Dessa forma, perturbações na
138 superfície podem afetar negativamente a população microbiana e influenciar a
139 dinâmica do carbono do solo.

140 A manutenção de sistemas de uso da terra a longo prazo podem auxiliar no
141 aumento da atividade microbiana nas camadas superficiais do solo e aumentar a
142 incrementação de carbono nessa fração (Anderson e Domsch, 1985), contudo, os
143 resultados indicam que mesmo plantios com 20 anos ainda possuem quantidades de
144 CBM inferiores que os sistemas nativos. Tal resultado pode ser relacionado ao tipo,
145 quantidade e qualidade de material vegetal depositado no solo, já que em plantios

146 homogêneos, tende a ser homogêneo e em menor quantidade em comparação a
147 áreas de florestas estabelecidas, especializando a microbiota.

148 A tendência de maior estabilidade nos fluxos de carbono do solo também foi
149 observada nos valores da RB, em que os clones de seringueira apresentaram
150 resultados entre 90,0 e 58,3 mg CO₂.kg solo dia⁻¹ e foram superiores aos valores
151 encontrados para outras coberturas vegetais (Loss *et al.*, 2010; Dossou-Yovo *et al.*,
152 2016).

153 Menores valores observados para RB e maiores para CBM em áreas cobertas
154 por florestas (Lan *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2018), indicam que ocorrem menores
155 perdas de carbono na forma de CO₂, incorporando carbono à biomassa microbiana,
156 tal resultado pode indicar que as comunidades microbianas apresentam maior grau
157 de organização e conseqüente estágio mais avançado de sucessão (Bowles *et al.*,
158 2014).

159 Os atributos microbiológicos podem ser uma importante ferramenta na
160 determinação da qualidade do solo, quando se considera que a decomposição dos
161 resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para as plantas, através da
162 mineralização da matéria orgânica. No entanto, uma elevada taxa de RB pode
163 desprender o carbono fixado pela matéria orgânica estável e comprometer os
164 processos químicos e físicos do solo, tais como a formação de agregados de
165 partículas e retenção de água e nutrientes. Logo, uma alta RB pode significar tanto
166 um distúrbio como um alto nível de produtividade, de acordo com a análise proposta
167 (Yuan *et al.*, 2017).

168 O menor quociente metabólico (qCO₂) foi encontrado na área de floresta. Os
169 clones de seringueira apresentaram maior qCO₂ quando comparados à área de
170 floresta, porém, o clone CPAA C01 apresentou qCO₂ estatisticamente igual em
171 relação a floresta indicando que, para este clone, ocorrem menores perdas de C,
172 sendo o sistema mais eficiente na utilização deste elemento, e que a longo prazo
173 resultará em maiores incrementos no solo em comparação aos demais clones.

174 De acordo com Kuwano *et al.*, (2014), elevados valores de qCO₂ indicam uma
175 população microbiana consumindo quantidades maiores de C para sua manutenção
176 devido a condições estressantes, tornando-a menos eficientes na utilização da
177 energia o que leva a perda de carbono orgânico do solo e degradação do solo.

178 Os resultados encontrados do qMic para os sítios avaliados, foi maior na área
179 de floresta, diferindo estatisticamente dos resultados encontrados para os sítios

180 cultivados com seringueira. Já para o qCO_2 , os resultados foram maiores no CPAA
181 C45, seguido por CPAA C06, CPAA C01 e FLO (Tabela 01).

182 A análise desses dois parâmetros são indicadores de atividade microbiológica
183 do solo e auxiliam na identificação da qualidade do solo, relacionado à sua capacidade
184 de estocar carbono. Os resultados de qCO_2 mostram que o cultivo dos clones CPAA
185 C06 e CPAA C45 apresentam forte desequilíbrio e perdem muito carbono para a
186 atmosfera, comparativamente ao solo cultivado com o CPAA C01.

187 Analisando os valores de $qMic$, observa-se que estes são maiores em FLO e
188 CPAA C01 e os menores valores de qCO_2 indicam que esses sistemas de uso da
189 terra, apresentam menor perda de CO_2 para a atmosfera. Assim, o CBM apresenta
190 maior eficiência na ciclagem de nutrientes e conseqüentemente, maior capacidade no
191 armazenamento de carbono, corroborando os dados de Baretta *et al.*, (2005), que
192 afirmam que o Campo Nativo e a Floresta Ombrófila Mista em estágio clímax são
193 sistemas menos propensos à perdas de carbono e maior sustentabilidade, uma
194 consequência de seu maior grau de conservação e menor perturbação.

195 A atividade microbiana do solo é regulada por diversos fatores, entre eles, a
196 qualidade e quantidade do material orgânico que constitui a serrapilheira (Rakotovao
197 *et al.*, 2017). As taxas de decomposição do material vegetal depositado no solo
198 (folhas, galhos e outros dejetos vegetais) podem interferir na dinâmica metabólica do
199 solo, podendo acumular substâncias que facilitem ou dificultem a atividade e
200 diversidade da microbiota, tais alterações na composição da matéria orgânica do solo
201 pode interferir nos processos de liberação de CO_2 através da respiração.

202 A população microbiana de solos sob regimes de monocultura necessitam de
203 maior energia para a sua manutenção, diferentemente do observado em solos com
204 vegetação diversificada, como é o caso de áreas de florestas nativas, onde existe
205 maior equilíbrio de matéria orgânica e maior diversidade de microrganismos (Cardoso
206 e Andreote, 2016).

207 Na figura 05 são apresentadas as correlações encontradas entre as variáveis
208 estudadas neste trabalho. De maneira geral, o CBM apresentou comportamento de
209 acordo com o encontrado na literatura, com correlações positivas para a RB e o $qMic$
210 e negativa para o qCO_2 , desta forma, pode-se observar que quanto maior a RB, maior
211 o $qMic$ e que o qCO_2 diminui à medida que aumenta o $qMic$. Em áreas de florestas de
212 clima mais ameno, geralmente há um maior aporte de carbono no solo oriundo da
213 queda das folhas e morte de plantas decorrentes da redução da temperatura ambiente

214 durante um determinado período do ano (Primieri *et al.*, 2017). Desta forma, uma
215 considerável parte da decomposição desses materiais é realizada pela atividade de
216 microrganismos no solo, estimulando seu desenvolvimento e reprodução,
217 aumentando o CBM temporariamente.

218 De acordo com os trabalhos de (Berg, 2000; Berg, 2014; Birge *et al.*, 2015), as
219 alterações climáticas afetam fortemente o ecossistema, estes autores demonstraram
220 que temperatura, umidade e pH do solo podem interferir diretamente no efluxo de CO₂,
221 podendo tais interferências ocorrerem em diferentes escalas de avaliação de unidade
222 de tempo. Para Wardle (1992), atributos químicos e variáveis macroclimáticas
223 considerados em conjunto são importantes fatores a considerar quando se pretende
224 explicar a variação global da atividade e dos teores de CBM.

225 Os diferentes clones de seringueira não alteram o teor de carbono do solo em
226 relação a floresta secundária. Por sua vez, o cultivo do clone CPAA C01 diminui
227 menos o CBM do que os demais clones usados nesse estudo. Além disso, o valor do
228 qCO₂ desse clone indica um menor impacto do seu cultivo sobre a microbiota do solo.
229 Esse menor distúrbio no solo é corroborado pelo valor do qMic do CPAA C01 que
230 indica uma melhor relação entre a biomassa microbiana e o carbono do solo do que
231 os demais clones.

232 **Conclusões**

233 O carbono do solo não é alterado pelo cultivo de seringueira quando comparado
234 com a floresta secundária.

235 O CBM do solo diminuiu devido ao cultivo de seringueira em relação à floresta
236 secundária.

237 O clone CPAA C01 causa menor diminuição de CBM que os demais clones
238 estudados.

239 O cultivo de seringueira diminui a respiração basal em relação à floresta
240 secundária.

241 O cultivo de seringueira com o clone CPAA C01 proporciona um qCO₂ igual ao
242 da floresta secundária.

243 O qMic do solo diminuiu devido ao cultivo de seringueira em relação à área de
244 floresta secundária.

245 O clone CPAA C01 causa menor diminuição de qMic que os clones CPAA C06
246 e CPAA C45.

247

248 **Agradecimentos**

249 À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, pelo apoio ao
250 desenvolvimento desta pesquisa, à equipe do Laboratório de Análises de Solo e
251 Plantas – LASP, pelo suporte na realização das atividades e ao Conselho Nacional de
252 Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de
253 estudos.

254 **Referências bibliográficas**

- 255 Alef, K. 1995. Soil respiration. In: Alef, K.; Nannipieri, P. (Eds.), *Methods in Applied*
256 *Soil Microbiology and Biochemistry*, p.214–219.
- 257 Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; de Moraes Gonçalves, J.L.; Sparovek, G.
258 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22:
259 711–728.
- 260 Alves, T. dos S.; Campos, L.L.; Elias Neto, N.; Matsuoka, M.; Loureiro, M.F. 2011.
261 Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas
262 de manejos. *Acta Scientiarum. Agronomy* 33: 341–347.
- 263 Anderson, T.–H.; Domsch, K.H. 1985. Determination of ecophysiological maintenance
264 carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. *Biology and Fertility of*
265 *Soils* 1: 81–89.
- 266 Anderson, T.–H.; Domsch, K.H. 1990. Application of eco–physiological quotients
267 (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil*
268 *Biology and Biochemistry* 22: 251–255.
- 269 Araújo, A.S.F.; Santos, V.B.; Monteiro, R.T.R. 2008. Responses of soil microbial
270 biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí
271 state, Brazil. *European Journal of Soil Biology* 44: 225–230.
- 272 Baretta, D.; Santos, J.C.P.; Figueiredo, S.R.; Klauberg–Filho, O. 2005. Efeito do
273 monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo
274 no Planalto Sul Catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29: 715–724.
- 275 Berg, B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils.
276 *Forest Ecology and Management* 133: 13–22.
- 277 Berg, B. 2014. Decomposition patterns for foliar litter – A theory for influencing factors.
278 *Soil Biology and Biochemistry* 78: 222–232.
- 279 Birge, H.E.; Conant, R.T.; Follett, R.F.; Haddix, M.L.; Morris, S.J.; Snapp, S.S.; et al.
280 2015. Soil respiration is not limited by reductions in microbial biomass during long–
281 term soil incubations. *Soil Biology and Biochemistry* 81: 304–310.
- 282 Bowles, T.M.; Acosta–Martínez, V.; Calderón, F.; Jackson, L.E. 2014. Soil enzyme
283 activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic
284 agroecosystems across an intensively–managed agricultural landscape. *Soil Biology*
285 *and Biochemistry* 68: 252–262.
- 286 Cardoso, E.J.B.N.; Andreote, F.D. 2016. *Microbiologia do solo*. 2nd ed. Piracicaba,
287 225p.

- 288 Carneiro, M.A.C.; de Souza, E.D.; Paulino, H.B.; Sales, L.E.O.; Vilela, L.A.F. 2013.
289 Atributos indicadores de qualidade em solos de cerrado no entorno do parque nacional
290 das emas, Goiás. *Bioscience Journal* 29: 1857–1868.
- 291 Cerri, C.E.P.; Sparovek, G.; Bernoux, M.; Easterling, W.E.; Melillo, J.M.; Cerri, C.C.
292 2007. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia*
293 *Agricola* 64: 83–99.
- 294 d'Andréa, A.F.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Guilherme, L.R.G. 2004. Estoque de carbono e
295 nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas
296 de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 179–186.
- 297 Ding, X.; Zhang, B.; Zhang, X.; Yang, X.; Zhang, X. 2011. Effects of tillage and crop
298 rotation on soil microbial residues in a rainfed agroecosystem of northeast China. *Soil*
299 *and Tillage Research* 114: 43–49.
- 300 Dossou-Yovo, E.R.; Brüggemann, N.; Jesse, N.; Huat, J.; Ago, E.E.; Agbossou, E.K.
301 2016. Reducing soil CO₂ emission and improving upland rice yield with no-tillage,
302 straw mulch and nitrogen fertilization in northern Benin. *Soil and Tillage Research* 156:
303 44–53.
- 304 Embrapa. 2017. *Manual de métodos de análise de solo*. In: Teixeira, P.C.;
305 Donagemma, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. (Eds.) 326p
- 306 Jenkinson, D.S.; Powlson, D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism
307 in soil—V. *Soil Biology and Biochemistry* 8: 209–213.
- 308 Kuwano, B.H.; Knob, A.; Fagotti, D.S.L.; Melém Júnior, N.J.; Godoy, L.; Diehl, R.C.; et
309 al. 2014. Soil quality indicators in a rhodic kandudult under different uses in northern
310 Parana, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38: 50–59.
- 311 Lan, G.; Li, Y.; Jatoi, M.T.; Tan, Z.; Wu, Z.; Xie, G. 2017. Change in soil microbial
312 community compositions and diversity following the conversion of tropical forest to
313 rubber plantations in Xishuangbannan, southwest China. *Tropical Conservation*
314 *Science* 10: 1–14.
- 315 Loss, A.; Pereira, M.G.; Schultz, N.; Anjos, L.H.C. dos; Silva, E.M.R. da. 2010.
316 Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do
317 solo e épocas de avaliação. *Bragantia* 69: 913–922.
- 318 Lucas, J.A.; García-Cristobal, J.; Bonilla, A.; Ramos, B.; Gutierrez-Mañero, J. 2014.
319 Beneficial rhizobacteria from rice rhizosphere confers high protection against biotic and
320 abiotic stress inducing systemic resistance in rice seedlings. *Plant Physiology and*
321 *Biochemistry* 82: 44–53.
- 322 Pegoraro, R.F.; da Silva, I.R.; de Novais, R.F.; de Barros, N.F.; Fonseca, S.; Dambroz,
323 C.S. 2011. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em
324 argissolo sob eucalipto e pastagem. *Ciencia Florestal* 21: 261–273.
- 325 Pereira, M.G.; Loss, A.; Júlio, S.; Luis, J.; Torres, R. 2010. Carbono, matéria orgânica
326 leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. *Pesquisa*
327 *Agropecuária Brasileira* 45: 508–514.
- 328 Primieri, S.; Muniz, A.W.; Lisboa, H. de M. 2017. Dinâmica do Carbono no Solo em
329 Ecossistemas Nativos e Plantações Florestais em Santa Catarina. *Floresta e*
330 *Ambiente* 24: e00110314.

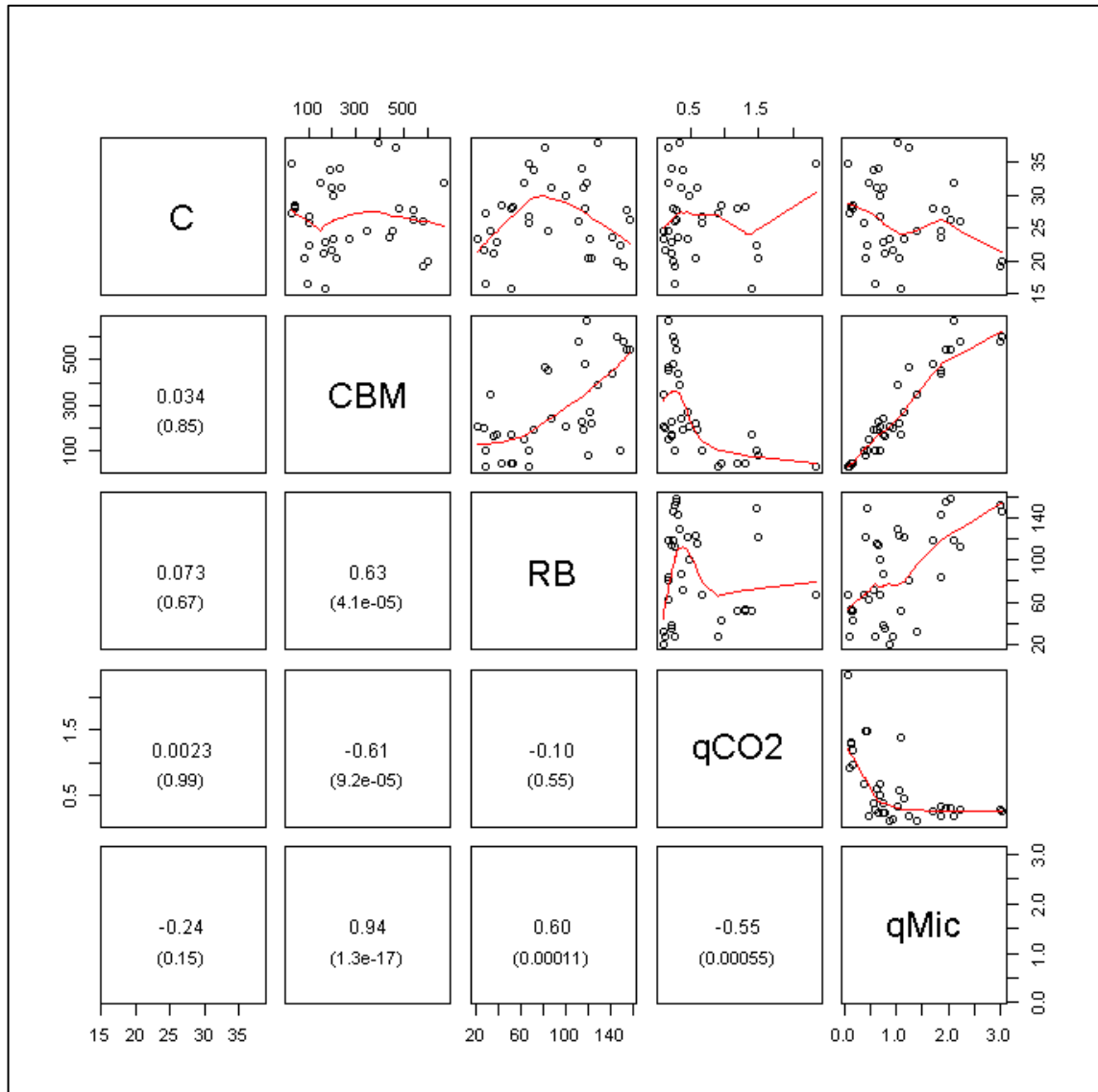
- 331 Rakotovao, N.H.; Razafimbelo, T.M.; Rakotosamimanana, S.; Randrianasolo, Z.;
332 Randriamalala, J.R.; Albrecht, A. 2017. Carbon footprint of smallholder farms in
333 Central Madagascar: The integration of agroecological practices. *Journal of Cleaner*
334 *Production* 140: 1165–1175.
- 335 da Silva, C.F.; Pereira, M.G.; Miguel, D.L.; Feitora, J.C.F.; Loss, A.; Menezes, C.E.G.;
336 et al. 2012. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do
337 solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do paraíba do sul (RJ).
338 *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 36: 1680–1689.
- 339 Wardle, D.A. 1992. A comparative assessment of factors which influence microbial
340 biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews* 67: 321–358.
- 341 Yuan, Z.; Liu, H.; Han, J.; Sun, J.; Wu, X.; Yao, J. 2017. Monitoring Soil Microbial
342 Activities in Different Cropping Systems Using Combined Methods. *Pedosphere* 27:
343 138–146.
- 344 Zhang, H.; Zhang, G.L.; Zhao, Y.G.; Zhao, W.J.; Qi, Z.P. 2007. Chemical degradation
345 of a Ferralsol (Oxisol) under intensive rubber (*Hevea brasiliensis*) farming in tropical
346 China. *Soil and Tillage Research* 93: 109–116.
- 347 Zhao, Y.; Goldberg, S.D.; Xu, J.; Harrison, R.D. 2018. Spatial and seasonal variation
348 in soil respiration along a slope in a rubber plantation and a natural forest in
349 Xishuangbanna, Southwest China. *Journal of Mountain Science* 15: 695–707.
- 350 Zhou, X.; Chen, C.; Wang, Y.; Xu, Z.; Duan, J.; Hao, Y.; et al. 2013. Soil extractable
351 carbon and nitrogen, microbial biomass and microbial metabolic activity in response to
352 warming and increased precipitation in a semiarid Inner Mongolian grassland.
353 *Geoderma* 206: 24–31.

354 Tabela 1: Carbono (C), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB) e quocientes
 355 metabólico (qCO₂) e microbiano (qMic) em áreas com seringueira e floresta secundária em Manaus –
 356 AM.

357 Table 1: Carbon (C), microbial biomass carbon (CBM), basal respiration (RB) and metabolic (qCO₂) and
 358 microbial (qMic) quotients in areas with rubber tree and secondary forest in Manaus – AM.

Uso da Terra*	C	CBM	RB	qCO ₂	qMic
	g .kg solo ⁻¹	mg C.kg solo ⁻¹	mg CO ₂ .kg solo ⁻¹ .dia ⁻¹	mg CO ₂ ⁻¹ mg CBM	%
FLO	25,97 ^a	516,14 ^a	131,23 ^a	0,25 ^b	2,08 ^a
C01	27,87 ^a	281,92 ^b	90,00 ^b	0,34 ^b	1,03 ^b
C06	26,06 ^a	119,68 ^c	58,30 ^b	0,69 ^a	0,47 ^c
C45	26,21 ^a	128,42 ^c	67,50 ^b	1,03 ^a	0,54 ^c

359 *FLO= Floresta secundária; C01, C06, C45 = clones de seringueira. *Médias com a mesma letra não
 360 diferem entre si de acordo com o teste de Scott-Knott (p<0,05).



361

362 Figura 5: Correlação entre o Carbono e os atributos microbiológicos do solo em áreas com seringueira
 363 e floresta secundária em Manaus-AM.

364 Figure 5: Correlation between carbon and soil microbiological attributes in areas with rubber tree and
 365 secondary forest in Manaus-AM.

Linhares, A.C.C.; Muniz, A.W. & Cordeiro, E.R. 2019. Avaliação da produtividade de borracha seca de três clones de seringueira sob aplicação de sulfato de magnésio, em Manaus–AM. Manuscrito em preparação para *Scientia Forestalis*

1 Avaliação da produtividade de borracha seca de três clones de seringueira sob
2 aplicação de sulfato de magnésio, em Manaus–AM

3 Evaluation of dry rubber yield of three rubber tree clones under application of
4 magnesium sulphate

5 **Resumo:** A produção de seringueira foi por muitos anos, dominada pelo Brasil, único
6 país com produção extrativista e local de maior ocorrência para a espécie, entretanto,
7 com as tentativas de cultivo comercial, surgiu a principal doença da planta, causada
8 pelo fungo *Microcyclus ulei*, vários trabalhos foram desenvolvidos, buscando materiais
9 resistentes e de alta produtividade. Este trabalho foi desenvolvido dentro do programa
10 de melhoramento genético de seringueira da Embrapa e teve como objetivo, avaliar
11 os efeitos da aplicação de sulfato de magnésio no cultivo de diferentes clones de
12 seringueira. Foram estudados três clones de seringueira materiais [CPAA C01 [*H.*
13 *guianensis* (Hgm 1) x *H. pauciflora* (CNS G 112)]; CPAA C06 [*H. pauciflora* (CNS G
14 124) x *H. rigidifolia* (CNS NA 8105)] e CPAA C45 [*H. guianensis* (Hgm 16) x *H.*
15 *pauciflora* (CBA 1)] e três doses de sulfato de magnésio. As avaliações no plantio
16 foram realizadas no período de novembro de 2017 a julho de 2018, avaliando a
17 produção de borracha seca e os parâmetros fisiológicos do látex. Não houve
18 diferenças estatísticas para a produção de borracha em função das doses de sulfato
19 de magnésio, entretanto, houve diferenças estatísticas para os parâmetros fisiológicos
20 do látex na dose de 81 g planta⁻¹. Correlações positivas foram observadas entre
21 fósforo inorgânico e tióis, e negativas entre produção de borracha seca e IRL;
22 sacarose e magnésio no látex. O clone CPAA C01 apresentou o melhor desempenho
23 produtivo.

24 **Palavras-chave:** *Hevea brasiliensis*; fisiologia do látex; estado nutricional;
25 *Microcyclus ulei*.

26 **Abstract:** The production of rubber tree was for many years dominated by Brazil, the
27 only country with extractive and local production of the species, but with the
28 commercial cultivation attempts, the main disease of the plant was caused by the
29 fungus *Microcyclus ulei*, several This work was developed within Embrapa 's genetic
30 breeding program and aimed to evaluate the effects of the application of magnesium
31 sulphate in the cultivation of different rubber tree clones. Three rubber tree clones were
32 studied [CPAA C01 [*H. guianensis* (Hgm 1) x *H. pauciflora* (CNS G 112)]; CPAA C06
33 [*H. pauciflora* (CNS G 124) x *H. rigidifolia* (CNS NA 8105)] and CPAA C45 [*H.*
34 *guianensis* (Hgm 16) x *H. pauciflora* (CBA 1)] and three doses of magnesium sulfate.
35 Planting evaluations were carried out from November 2017 to July 2018, evaluating
36 the dry rubber production and the physiological parameters of the latex. There were
37 no statistical differences for the production of rubber as a function of the doses of
38 magnesium sulphate, however, there were statistical differences for the physiological
39 parameters of latex at the dose of 81 g plant⁻¹. Positive correlations were observed
40 between inorganic phosphorus and thiols, and negative between dry rubber production
41 and IRL; sucrose and magnesium in the latex. Clone C01 showed the best productive
42 performance.

43 **Key-words:** *Hevea brasiliensis*; latex physiology; nutritional status; *Microcyclus ulei*.

44 **Introdução**

45 A seringueira, pertencente ao gênero *Hevea*, da família Euphorbiaceae, tem a
46 *Hevea brasiliensis* (Willd. ex Adr. de Juss.) Muell. – Arg. como a mais importante

47 espécie do gênero, sendo a responsável por aproximadamente 90% da produção de
48 borracha natural do mundo. No continente asiático, é cultivada como a principal fonte
49 de borracha natural (Gonçalves *et al.*, 2002). Em 2017, cerca de 68% da produção
50 mundial de borracha foi oriunda da Tailândia, Indonésia, Vietnã e Índia, que
51 contribuíram com 31%, 24%, 7% e 6%, respectivamente, neste ano, a área total
52 estimada com cultivo de seringueira foi de cerca de 12,5 milhões de hectares e
53 produção total de 15 milhões de toneladas (FAO, 2019a).

54 Há 130 anos, no início de seu processo de domesticação, a seringueira foi
55 considerada mais uma espécie selvagem da Amazônia, mas que apresentava futuro
56 promissor na economia mundial (Cornish, 2017). Durante esse período, muitos
57 estudos na área de melhoramento genético contribuíram para a identificação de
58 materiais superiores, elevando a produtividade de aproximadamente 300 kg para mais
59 que 3.000 kg (Heng e Joo, 2017). Melhoristas têm tentado formular novas estratégias
60 com o intuito de incrementar cada vez mais a produtividade do seringal, empregando
61 um conjunto de métodos, ainda em desenvolvimento. Embora o Brasil seja o centro
62 de origem das espécies do gênero, contribuiu, no ano de 2017, com apenas 1,27% da
63 produção mundial de aproximadamente 14,5 milhões de toneladas e importou cerca
64 de 52% da borracha natural necessária ao atendimento da indústria interna (FAO,
65 2019b).

66 A heveicultura é uma atividade que traz uma série de benefícios para o sistema
67 climático global, por se tratar de uma espécie florestal que armazena C pelo processo
68 da fotossíntese e seu produto final, a borracha, também é um grande armazenador de
69 C, contribuindo ainda na substituição da utilização de derivados de petróleo
70 (Blagodatsky *et al.*, 2016; Sigau e Hamid, 2018)

71 Atividades agrícolas com a cobertura permanente e prolongada dos solos como
72 é o caso de cultivos florestais, além de sequestrarem C da atmosfera, ainda reduzem
73 a erosão do solo e a perda do C do sistema, que seria perdido através de processos
74 erosivos (Lang *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2018). Blagodatsky *et al.*, (2016)
75 demonstraram que sistemas agrícolas com o manejo de espécies florestais possuem
76 alto potencial de absorver CO₂ e globalmente, esses ecossistemas possuem a
77 capacidade de armazenar 10,1 a 20,2 Mg de C anualmente, por mais de 50 anos
78 (Carvalho *et al.*, 2010).

79 O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de sulfato de
80 magnésio no cultivo de diferentes clones de seringueira, em função da produção de
81 borracha seca e parâmetros fisiológicos do látex em Manaus – AM.

82 **Material e métodos**

83 O presente estudo foi desenvolvido em um plantio experimental de seringueira
84 com 20 anos de idade, localizado no município de Manaus, Amazonas, Estação
85 experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Amazônia
86 Ocidental CPAA), km 30, rodovia AM – 010. As coordenadas geográficas da área
87 experimental são 02°53'29,14" S e 59°58'39,90" W

88 O clima da região é do tipo Afi, conforme classificação de Köppen, com
89 ocorrência de chuvas abundantes ao longo de todo o ano, com média de 2.300 mm
90 ano⁻¹, umidade do ar em torno de 80% e temperatura média de 26 °C (Alvares *et al.*,
91 2013). O solo é um Latossolo Amarelo de acordo com a interpretação dos resultados
92 de análise (Embrapa, 2017).

93 Os dados climáticos do período experimental foram obtidos pela estação
94 Meteorológica da Embrapa, situada no mesmo campus. Os dados analisados foram:
95 temperaturas mínima, média e máxima e precipitação pluviométrica. Foram estudados
96 três combinações de copas de seringueira tricomposta enxertadas em painel CNS AM
97 7905 com aproximadamente 20 anos de idade: CPAA C 01 [*H. guianensis* (Hgm 1) x
98 *H. pauciflora* (CNS G 112)]; CPAA C 06 [*H. pauciflora* (CNS G 124) x *H. rigidifolia*
99 (CNS NA 8105)] e CPAA C 45 [*H. guianensis* (Hgm 16) x *H. pauciflora* (CBA 1)].

100 Foram realizadas avaliações neste plantio, durante o período de novembro de
101 2017 a julho de 2018, para verificar o efeito da aplicação de sulfato de magnésio (9%
102 de Mg) em parâmetros fisiológicos de látex e produtivos de borracha seca. As árvores
103 utilizadas neste estudo foram submetidas a estimulação de Ethrel® (Domiciano *et al.*,
104 2018), aplicado no painel de sangria em concentração de 2,5% com intervalo de 3
105 meses entre as aplicações.

106 Afim de conhecer o estado nutricional das plantas, procedeu-se coleta de
107 material vegetal (Bataglia *et al.*, 1988), para a realização de análise foliar, cuja
108 determinação de macro e micronutrientes foi realizada segundo Embrapa (2009). A
109 fertilização estudada ocorreu na forma de aplicação de doses crescentes de Mg (20,25
110 g; 40,50 g e 81 g planta⁻¹) nos clones estudados, sendo a dose de 40,50 g o
111 tratamento controle (Moreira *et al.*, 2014). Os painéis foram estimulados durante um
112 período de 2 meses com sangrias semanais não quantificadas, após este período,

113 iniciou-se a aplicação de Ethrel trimestralmente, quando então, deu-se início à
114 quantificação de borracha seca. O sistema de sangria adotado foi o de meia espiral a
115 cada sete dias (d7).

116 As sangrias foram realizadas sempre no início da manhã, já que a pressão
117 decrescente do turgor e a taxa de fluxo do látex reduzem significativamente o
118 rendimento ao longo do dia, o processo foi completado sempre antes das 9:00 horas,
119 permitindo que o látex fluísse por pelo menos 2 horas (Heng e Joo, 2017). Ao final de
120 cada mês, os arames com os coágulos eram retirados, identificados com placas de
121 alumínio e dispostos em zona abrigada das chuvas, onde permaneciam durante todo
122 o mês seguinte para secagem ao ar. Decorrido este processo, realizou-se a pesagem
123 com balança analógica de prato, anotando-se as informações dos indivíduos
124 correspondentes. A partir desses dados estimou-se a produção por clone hectare⁻¹
125 ano⁻¹, seguindo recomendações da Embrapa (1989).

126 Foram realizadas também análises de parâmetros fisiológicos do látex,
127 seguindo as metodologias propostas para concentrações de: enxofre (R–Sh) (Boyne
128 e Ellman, 1972); fósforo inorgânico (P) (Tausky e Shorr, 1953); sacarose (Sac)
129 (Ashwell, 1957); índice de ruptura de lutóides (IRL); magnésio (Mg) (Embrapa, 2009)
130 e conteúdo de borracha seca (DRC) (Morais *et al.*, 2018).

131 Os dados experimentais foram analisados em blocos casualizados, com 3
132 blocos, e submetidos à análise de variância. Todos os pressupostos foram avaliados.
133 A normalidade do erro foi avaliada pelo teste de Shapiro Wilk e a homogeneidade da
134 variância pelo teste de Levene. Quando as diferenças foram significativas, as médias
135 foram comparadas pelo teste de Fischer ($p < 0,05$).

136 **Resultados e discussão**

137 Durante o período experimental, as variáveis climáticas tiveram oscilação de
138 precipitação na ordem de 366,0 – 115,3 mm, em dezembro de 2017 e julho de 2018
139 respectivamente e, para temperatura média a variação foi de 26,0 – 23,6 °C nos
140 meses de novembro e dezembro do ano de 2017, respectivamente. Tais variações,
141 principalmente a variação de precipitação, que influencia diretamente na
142 disponibilidade de água no solo e umidade relativa do ar, podem ter influenciado na
143 variabilidade dos resultados de alguns parâmetros fisiológicos como por exemplo, a
144 sacarose, que é afetada pela taxa fotossintética (Senevirathna *et al.*, 2003).

145 A produção dentro de cada clone, não foi afetada pelas diferentes doses de
146 sulfato de magnésio durante o período de análise, contrariando os dados observados

147 por Moreira *et al.*, (2014). No mesmo plantio, os autores observaram que a aplicação
148 de 450 g de sulfato de magnésio foi a melhor dose para aumentar a produção de
149 borracha seca dos clones de seringueira. A diferença de resultados pode ser resultado
150 da ausência de aplicação dos demais elementos, ou também for outros fatores como:
151 variações climáticas e horário em que as sangrias foram realizadas.

152 Embora não tenham ocorrido diferenças estatísticas dentro de cada clone em
153 função da aplicação de sulfato de magnésio, observou-se uma maior produção para
154 todos os clones neste estudo em relação aos dados coletados até o momento na
155 mesma área (Moraes e Moraes, 2008; Moraes *et al.*, 2011; Moraes *et al.*, 2013;
156 Moreira *et al.*, 2014). O clone CPAA C01 se destaca com o melhor desempenho de
157 produção (Tabela 02) corroborando os dados obtidos em estudos anteriores
158 realizados por Moraes *et al.*, (2013), entretanto, a produtividade dos clones CPAA C06
159 e CPAA C45, embora menores estatisticamente, superam a produção de cultivos
160 paulistas onde as técnicas agrônômicas são rigorosamente seguidas em plantios
161 comerciais (Gonçalves *et al.*, 2002; IBGE, 2019).

162 O DRC exprime a quantidade de sólidos totais contidos no látex, quanto maior
163 o seu valor, maior a viscosidade de solutos que estão sendo transportados pelos
164 vasos condutores da planta. Essa viscosidade está diretamente relacionada ao gasto
165 energético, quanto mais viscoso maior gasto de energia para o transporte, sujeitando
166 os vasos à oclusões temporárias ou permanentes (Moreno *et al.*, 2003). Nesse sentido,
167 a estimulação de seringueiras com hormônios é fundamental, uma vez que estes
168 produtos possuem a capacidade de tornar as paredes dos vasos laticíferos mais
169 espessas e rígidas, além de elevar o pH e a produção de sacarose no látex, reduzindo
170 os riscos de danos severos ao painel de sangria e atribuindo qualidade ao látex
171 produzido (Silva *et al.*, 2013).

172 Com relação aos constituintes do látex, o enxofre é fundamental na composição
173 dos aminoácidos cisteína e metionina que são responsáveis pela formação de tióis,
174 que variaram entre 0,53 e 0,78 g L⁻¹ (Tabela 02) e apresentaram correlação positiva
175 com o IRL (Figura 06), corroborando os dados observados por Moraes *et al.*, (2013).
176 Os clones apresentaram também baixos teores de sacarose no látex, entretanto,
177 como apresentaram alta produtividade, esse fator pode estar relacionado à sua maior
178 utilização na síntese de borracha e também pelo efeito de diluição devido à alta
179 exportação de látex (Jacob *et al.* 1989a).

180 Similar ao descrito por Moraes *et al.*, (2011) em estudos relativos à seleção de
181 painéis de sangria com copas de híbridos de *H. pauciflora* × *H. guianensis*, elevados
182 valores de P verificados nos clones estudados (Tabela 02) influenciaram
183 positivamente a produtividade de borracha seca. Resultados obtidos por Jacob *et al.*,
184 (1989b) e Moraes *et al.*, (2013), demonstram que o P inorgânico no látex reflete a
185 intensidade da síntese de borracha, devido a liberação de moléculas fosfatadas
186 utilizadas para incorporação do isopreno à macromolécula da borracha, bem como na
187 produção de ATP. Para os teores de Mg no látex (Tabela 02), os valores foram
188 situados entre 0,56 e 1,04 g L⁻¹, e não foram considerados como limitantes para a
189 biossíntese da borracha nos vasos laticíferos (Moraes e Moraes, 2008; Moraes *et al.*,
190 2011).

191 Segundo Hawkesford *et al.*, (2012), o Mg ativa a maioria das enzimas
192 fosforilativas que formam pontes entre o ATP ou ADP com a molécula da enzima.
193 Entretanto, para Coleman (1992), o Mg tem também o papel de inibidor de atividade
194 de enzimas chave, como a invertase e as fosfatases ácidas. Tal como o Ca, este
195 elemento também pode ser acumulado nos lutóides e contribuir para a regulação do
196 metabolismo. Em se tratando do processo de fluxo, altas concentrações desse
197 elemento agem como desestabilizadoras do látex, por neutralizarem as cargas
198 eletronegativas das partículas responsáveis pela estabilidade coloidal do látex,
199 promovendo a coagulação (Senevirathna *et al.*, 2003).

200 Para determinar as faixas adequadas de concentração dos nutrientes nas
201 folhas (Tabela 03), utilizou-se como referência os dados apresentados por Moraes *et*
202 *al.*, (2011) com híbridos de copa de *H. guianensis* × *H. pauciflora*. Verificou-se que na
203 média, os teores foliares para os clones estudados, com destaque para o CPAA C01
204 na dose de 81 g planta⁻¹ foram de: N (19,71 kg⁻¹), P (0,98 g kg⁻¹), K (3,75 g kg⁻¹), Ca
205 (3,61 g kg⁻¹), Mg (3,63 g kg⁻¹), S (1,42 g kg⁻¹), B (31,75 mg kg⁻¹), Fe (70,50 mg kg⁻¹)
206 Mn (63,31 mg kg⁻¹) e Zn (21,71 mg kg⁻¹). Esses valores ficaram dentro das faixas
207 obtidas e recomendadas por esses autores, enquanto os teores de Cu (0,46 mg kg⁻¹)
208 apresentaram-se abaixo dos teores considerados adequados, indicando a
209 necessidade de aplicação deste nutriente no solo.

210 O clone mais produtivo (C01) apresentou os maiores teores de Cu e K, contudo,
211 os teores de Mg, elemento indicado como importante critério de seleção de copas em
212 estudos realizados por Moraes e Moraes (2004), não diferiu estatisticamente dentro
213 deste clone nas diferentes doses de sulfato de magnésio aplicadas ao solo.

214 Entretanto, houve diferenças significativas nas concentrações das doses superiores a
215 40,50 g planta⁻¹ nos clones CPAA C06 e CPAA C45 (Tabela 03). Resultados
216 semelhantes foram observados por Moraes *et al.*, (2011) e Moraes *et al.*, (2013), que
217 descreveram relação positiva entre os teores de Cu e de K em folhas de seringueira
218 com a produtividade. A aplicação de sulfato de magnésio de maneira isolada no solo,
219 não apresentou alterações significativas para os atributos químicos (Tabela 04).

220 De acordo com Jacob *et al.*, (1989a), elevados teores de Cu em plantas de
221 seringueira são importantes por tratar-se de elemento inibidor da sacarose sintetase,
222 enzima responsável pela neossíntese da sacarose no látex, mantendo disponível o
223 substrato para a síntese da borracha. O mesmo ocorre com o K, explicando-se o grau
224 de importância pela sua função metabólica nos processos ligados à translocação de
225 compostos fotossintetizados pelo floema, à síntese isoprênica e à duração do fluxo de
226 látex após a sangria (Virgens Filho *et al.*, 2003; Moraes *et al.*, 2013).

227 Foram observadas correlações (Figura 06): moderadamente negativa entre as
228 variáveis produção e IRL, constatando que o aumento do IRL, reduz o tempo de
229 escoamento de látex, assim, reduzindo a produtividade; forte positiva entre os tióis e
230 as concentrações de P inorgânico, corroborando os dados apresentados por Moraes
231 *et al.*, (2013) forte negativa para sacarose e as concentrações de Mg, indicando que
232 altas concentrações deste elemento no látex podem interferir na síntese de sacarose
233 e como consequência, na quantidade e qualidade de borracha produzida.

234 A produtividade dos clones de seringueira não foi afetada pela aplicação de
235 diferentes doses de sulfato de magnésio, entretanto, proporcionou melhor equilíbrio
236 na relação P/Mg que determina um ótimo estado fisiológico para o escoamento de
237 látex durante o processo de exploração. O clone CPAA C01 foi o que apresentou
238 melhor desempenho entre os clones estudados, sendo um clone altamente produtivo
239 e econômico do ponto de vista da exportação de nutrientes, constituindo-se material
240 promissor para estudos futuros e consequente, lançamento para o cultivo por
241 produtores no Amazonas.

242 **Conclusões**

243 A produção de borracha seca não foi afetada pelas diferentes doses de
244 magnésio. O clone CPAA C01 mostrou-se superior no desempenho produtivo frente
245 aos clones CPAA C06 e CPAA C45. Existe correlação entre as concentrações de P,
246 Mg, S e o IRL para a produção de borracha seca e escoamento de látex.

247

248 Agradecimentos

249 À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, pelo apoio ao
250 desenvolvimento desta pesquisa, aos técnicos Francisco Éxigidas e Sergio da Silva
251 e ao Laboratório de Fisiologia vegetal da Embrapa CPAA, pelo suporte na realização
252 das atividades, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico –
253 CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

254 Referências bibliográficas

255 Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; de Moraes Gonçalves, J.L.; Sparovek, G.
256 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22:
257 711–728.

258 Ashwell, G. 1957. Colorimetric analysis of sugars. In: Colonick, S.P.; Kaplan, N.D.
259 (Eds.), *Methods in Enzymology*, Academic Press, New York, p.73–105.

260 Bataglia, O.C.; Cardoso, M.; Carretero, M.V. 1988. Situação nutricional de seringais
261 produtivos no estado de São Paulo. *Bragantia* 47: 109–123.

262 Blagodatsky, S.; Xu, J.; Cadisch, Georg Carbon balance of rubber (*Hevea brasiliensis*)
263 plantations: A review of uncertainties at plot, landscape and production level. 2016.
264 Carbon balance of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations: A review of uncertainties at
265 plot, landscape and production level. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 221: 8–
266 19.

267 Boyne, A.F.; Ellman, G.L. 1972. A methodology for analysis of tissue sulfhydryl
268 components. *Analytical Biochemistry* 46: 639–653.

269 Carvalho, J.L.N.; Avanzi, J.C.; Silva, M.L.N.; Mello, C.R. de; Cerri, C.E.P. 2010.
270 Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira*
271 *de Ciência do Solo* 34: 277–290.

272 Coleman, J.E. 1992. Structure and mechanism of alkaline phosphatase. *Annual*
273 *Review of Biophysics and Biomolecular Structure* 21: 441–483.

274 Cornish, K. 2017. Rubber Production. 208. In: *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*,
275 Vol. 3, 2ª ed. Elsevier, p.410–419.

276 Domiciano, D.; Carvalho, P.A.; Oliveira, L.E.M. de; Cárdenaz, H.B.W.; Prudente, D. de
277 O. 2018. Ethrel® stimulant increases the activity of soluble invertase isoforms in rubber
278 tree (*Hevea brasiliensis*) bark tissues. *Australian Journal of Crop Science* 12: 99–107.

279 Embrapa. 1989. *Melhoramento genético da seringueira*. Manaus, 23p.

280 Embrapa. 2009. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. In:
281 Silva, F.C. da (Ed.) Brasília, 627p.

282 Embrapa. 2017. *Manual de métodos de análise de solo*. In: Teixeira, P.C.;
283 Donagemma, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. (Eds.) 326p.

284 FAO. 2019a. *Crops*. (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>). Accessed on 04 Jan.
285 2019.

286 FAO. 2019b. *Crops and livestock products*. (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>).

- 287 Accessed on 04 Jan. 2019.
- 288 Gonçalves, P. de S.; Martins, A.L.M.; Furtado, E.L.; Sambugaro, R.; Ottati, E.L.;
289 Ortolani, A.A.; et al. 2002. Desempenho de clones de seringueira da série IAC 300 na
290 região do planalto de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 131–138.
- 291 Hawkesford, M.; Horst, W.; Kichey, T.; Lambers, H.; Schjoerring, J.; Møller, I.S.; et al.
292 2012. Functions of macronutrients. In: Marschner, P. (Ed.), *Marschner's Mineral*
293 *Nutrition of Higher Plants*, 3rd ed.p.135–189.
- 294 Heng, T.S.; Joo, G.K. 2017. Rubber. In: *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, Vol.
295 3, Elsevier, p.402–409.
- 296 IBGE. 2019. *Produção agrícola municipal*. (<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>).
297 Accessed on 04 Jan. 2019.
- 298 Jacob, J.L.; Prévôt, J.C.; Kekwick, R.G.O. 1989a. General metabolism of *Hevea*
299 *brasiliensis* latex (with the exception of isoprenic anabolism). In: D'Auzac, J.; Jacob,
300 J.L.; Chrestin, H. (Eds.), *Physiology of Rubber Tree Latex: The Laticiferous Cell and*
301 *Latex—A Model of Cytoplasm*, Boca Raton, p.101–144.
- 302 Jacob, J.L.; Prevot, J.C.; Roussel, D.; Lacrotte, R.; Serres, E.; D'Auzac, J.; et al. 1989b.
303 Yield-limiting factors, latex physiological parameters, latex diagnosis and clonal
304 typology. In: D'Auzac, J.; Jacob, J.L.; Chrestin, H. (Eds.), *Physiology of Rubber Tree*
305 *Latex: The Laticiferous Cell and Latex—A Model of Cytoplasm*, Boca Raton, p.345–
306 382.
- 307 Lang, R.; Blagodatsky, S.; Xu, J.; Cadisch, G. 2017. Seasonal differences in soil
308 respiration and methane uptake in rubber plantation and rainforest. *Agriculture,*
309 *Ecosystems & Environment* 240: 314–328.
- 310 Moraes, L.A.C.; Moreira, A.; Fontes, J.R.A.; Cordeiro, E.R.; Moraes, V.H. de F. 2011.
311 Assessment of rubber tree panels under crowns resistant to South American leaf
312 blight. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46: 466–473.
- 313 Moraes, L.A.C.; Moraes, V.H. de F.; Moreira, A.; Cordeiro, E.R.; Oliveira, M.C.N. de.
314 2013. Clones de copa de seringueira resistentes ao mal-das-folhas para o cultivo na
315 Amazônia tropical úmida. *Bragantia* 72: 271–278.
- 316 Moraes, V.H.; Moraes, L.A.. 2004. Características do látex do clone de *Hevea*
317 *brasiliensis* Fx 4098 sob diferentes copas enxertadas de *H. pauciflora*. *Revista de*
318 *Ciências Agrárias* 42: 97–107.
- 319 Moraes, V.H. de F.; Moraes, L.A.C. 2008. Desempenho de clones de copa de
320 seringueira resistentes ao mal-das-folhas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43:
321 1495–1500.
- 322 Morais, R.R. de; Atroch, A.L.; Cordeiro, E.R. 2018. *Influência da enxertia de copa na*
323 *fisiologia do látex do clone de seringueira CNSAM 7905 na região de Manaus, AM.*
324 Manaus, 18p.
- 325 Moreira, A.; Moraes, L.A.C.; Cordeiro, E.R.; Fageria, N.K. 2014. Evaluation of rubber
326 tree crown clones for yield and magnesium use efficiency in a Xanthic Ferralsol.
327 *Journal of Plant Nutrition* 37: 1171–1186.
- 328 Moreno, R.M.B.; Ferreira, M.; Gonçalves, P. de S.; Mattoso, L.H.C. 2003. Avaliação

- 329 do látex e da borracha natural de clones de seringueira no Estado de São Paulo.
330 *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38: 583–590.
- 331 Senevirathna, A.M.W.K.; Stirling, C.M.; Rodrigo, V.H.L. 2003. Growth, photosynthetic
332 performance and shade adaptation of rubber (*Hevea brasiliensis*) grown in natural
333 shade. *Tree Physiology* 23: 705–712.
- 334 Sigau, C.U.; Hamid, H.A. 2018. Soil CO₂ efflux of oil palm and rubber plantation in 6–
335 year–old and 22–year–old chronosequence. *Tropical Agricultural Science* 41: 1217–
336 1231.
- 337 Silva, J.Q.; Filho, J.A.S.; Gonçalves, P. de S.; Júnior, E.J.S.; Bernardes, M.S.; Souza,
338 G.B. de; et al. 2013. Produção e característica da borracha natural de clones de
339 seringueira sob diferentes sistemas de sangria e em função dos estádios fenológicos.
340 *Agrotrópica* 25: 5–10.
- 341 Tausky, H.H.; Shorr, E. 1953. A microcolorimetric method for the determination of
342 inorganic phosphorus. *Journal of Biological Chemistry* 202: 675–685.
- 343 Virgens Filho, A.D.C.; Moreira, A.; Castro, P.R. de C. e. 2003. Características físicas
344 e químicas do látex e crescimento da seringueira em função da calagem e da
345 adubação NPK em dois sistemas de exploração. *Ciência e Agrotecnologia* 27: 1237–
346 1245.
- 347 Zhao, Y.; Goldberg, S.D.; Xu, J.; Harrison, R.D. 2018. Spatial and seasonal variation
348 in soil respiration along a slope in a rubber plantation and a natural forest in
349 Xishuangbanna, Southwest China. *Journal of Mountain Science* 15: 695–707.

350 Tabela 2: Produção, conteúdo de borracha seca (DRC), tióis (R–Sh), fósforo inorgânico (P) e magnésio
 351 (Mg) em clones de seringueira, em Manaus–AM.

352 Table 2: Production, dry rubber content (DRC), thiols (R–Sh), inorganic phosphorus (P) and magnesium
 353 (Mg) in rubber clones in Manaus–AM.

Clones*	Produtividade	DRC	R–Sh	P	Mg
	kg.ha ⁻¹	%	g.L ⁻¹		
C01	3816,41 ^a	41,78 ^{ab}	0,53 ^b	2,77 ^b	1,57 ^a
C06	3046,94 ^{ab}	40,68 ^b	0,78 ^a	4,93 ^a	1,04 ^{ab}
C45	2763,50 ^b	43,85 ^a	0,69 ^{ab}	5,02 ^a	0,56 ^b

354 *C01, C06, C45= clones de seringueira. *Médias com a mesma letra não diferem entre si de acordo
 355 com o teste de Fischer (p<0,05).

356 Tabela 3: Análise foliar de clones de seringueira antes e depois da aplicação de sulfato de magnésio,
357 em Manaus–AM.

358 Table 3: Leaf analysis of rubber tree clones before and after the application of magnesium sulphate in
359 Manaus–AM.

Dose g planta ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
C01											
0,00	23,14 ^a	1,57 ^a	5,47 ^a	4,30 ^a	2,57	1,37	41,14	6,84 ^a	69,71	49,80	33,13
20,25	22,06 ^a	1,28 ^a	4,35 ^{ab}	1,80 ^b	2,33	0,65	26,46	0,22 ^b	24,38	36,54	13,53
40,50	22,62 ^a	1,23 ^a	4,74 ^a	2,08 ^{ab}	2,33	0,80	17,64	0,25 ^b	29,01	30,27	15,13
81,00	19,71 ^b	0,98 ^b	3,75 ^b	3,61 ^a	3,63	1,42	31,75	0,46 ^b	70,50	63,31	21,71
C06											
0,00	29,14 ^a	2,02 ^a	7,43 ^{ab}	4,77 ^a	2,46	2,13	31,92	6,82 ^a	79,08	50,10	39,40
20,25	27,44 ^a	1,88 ^b	6,52 ^b	1,70 ^b	3,17	1,34	39,98	1,38 ^b	38,99	36,77	15,05
40,50	22,96 ^b	2,08 ^a	11,46 ^a	2,00 ^b	3,47	2,69	44,69	3,76 ^b	36,79	82,80	38,64
81,00	26,04 ^a	2,01 ^a	8,89 ^{ab}	1,90 ^b	3,42	1,77	52,33	2,28 ^b	52,80	71,31	41,12
C45											
0,00	22,60 ^a	1,24 ^a	4,39 ^b	5,28 ^a	2,77	1,50	46,06	5,68 ^a	60,30	54,77	29,92
20,25	21,20 ^a	1,15 ^a	4,74 ^b	1,94 ^b	2,23	0,74	20,00	0,20 ^b	17,88	28,95	12,04
40,50	18,70 ^b	1,09 ^a	4,54 ^b	2,50 ^b	3,24	0,66	20,58	1,29 ^b	19,91	78,28	26,78
81,00	17,30 ^b	1,15 ^a	5,14 ^a	1,90 ^b	3,48	1,12	31,75	0,41 ^b	21,40	33,78	12,58

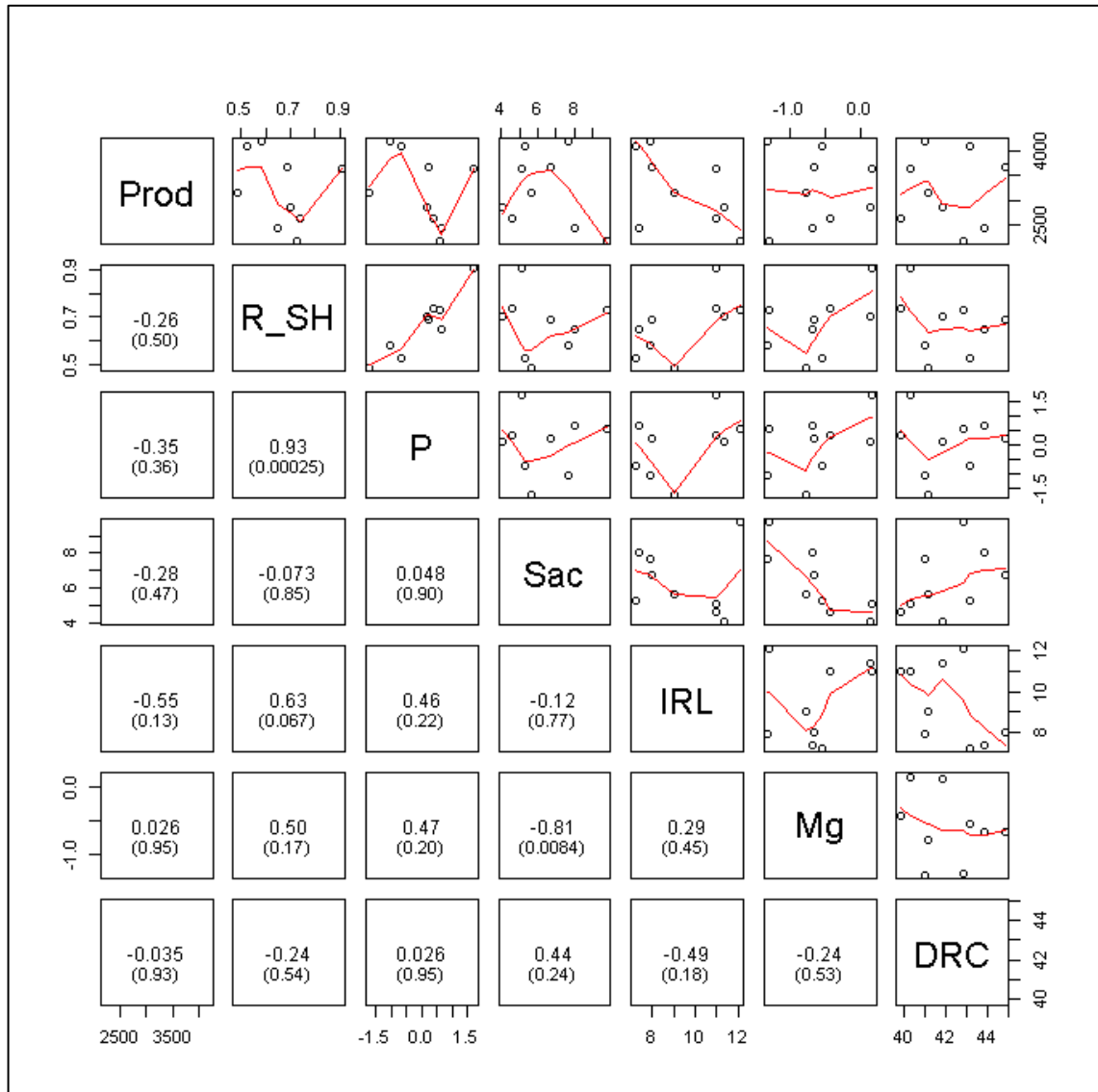
360 *Médias com a mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Fischer (p<0,05).

361 Tabela 4: Atributos químicos de solos cultivados com clones de seringueira antes e depois da aplicação
 362 de sulfato de magnésio, em Manaus-AM.

363 Table 4: Atributos químicos de solos cultivados com clones de seringueira antes e depois da aplicação
 364 de sulfato de magnésio, em Manaus-AM.

Dose	pH	M.O	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	T	V
	H ₂ O	g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³			cmol.c.dm ⁻³				%
0	4,29	35,14	4	24	0,21	0,13	1,53	7,10	7,51	5,52
C01										
20,25	4,48	52,33	7,64	25,67	0,99 ^{ab}	0,17 ^b	1,17	8,37	9,61	12,48 ^b
40,50	4,54	45,77	6,55	32,00	1,58 ^a	0,74 ^a	1,01	7,06	9,47	23,05 ^a
81,00	4,17	45,71	5,75	35,67	0,50 ^b	0,14 ^b	1,31	8,03	8,77	08,51 ^b
C06										
20,25	4,03	47,09	3,97	31,00	0,33 ^a	0,06 ^a	1,54	7,38	7,85	6,14 ^a
40,50	4,04	43,02	4,69	33,33	0,31 ^a	0,06 ^a	1,44	7,85	8,31	5,63 ^a
81,00	4,07	44,38	3,80	31,67	0,38 ^a	0,06 ^a	1,20	7,29	7,82	6,62 ^a
C45										
20,25	4,07	47,19	3,58	32,67	0,45 ^a	0,14 ^b	1,19	9,08	9,75	07,55 ^a
40,50	4,20	45,23	4,04	29,33	0,58 ^a	0,24 ^b	1,26	7,84	8,74	10,54 ^a
81,00	4,03	41,30	4,28	32,50	0,35 ^a	0,60 ^a	1,42	8,42	9,46	11,35 ^a

365 *Médias com a mesma letra não diferem entre si de acordo com o teste de Fischer (p<0,05).



366

367 Figura 6: Correlação entre a produção de borracha seca e os atributos fisiológicos do látex de
 368 seringueira em Manaus – AM.

369 Figure 6: Correlation between dry rubber production and the physiological attributes of rubber latex in
 370 Manaus – AM.

Síntese

Ao final deste estudo pode-se concluir que:

Nas condições experimentais, a aplicação de sulfato de magnésio como fator isolado, não afetou a produtividade de borracha seca dos clones de seringueira estudados, entretanto, é uma prática necessária para a reposição dos nutrientes retirados do solo quando da exploração do seringal.

Em relação aos atributos biológicos do solo, o clone CPAA C01 apresenta, boa alternativa para a manutenção destes, contribuindo com o aumento de estoque de carbono no solo através dos dados de biomassa microbiana encontrados, bem como em função dos quocientes microbianos e de respiração.

Dentre os clones de seringueira estudados, o CPAA C01 se mostrou uma ótima alternativa de produção, com elevados valores de produção, economia na extração de nutrientes, melhor conservador de atributos microbiológicos do solo e mais eficiente na utilização de nutrientes.

Houve correlações importantes entre variáveis relacionadas à produção de borracha seca (fósforo inorgânico e tióis) e escoamento de látex (sacarose e concentrações de magnésio) na dose 81 g planta^{-1} para o clone CPAA C01.

Referências bibliográficas

- Alef, K. 1995. Soil respiration. In: Alef, K.; Nannipieri, P. (Eds.), *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*, p.214–219.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; de Moraes Gonçalves, J.L.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22: 711–728.
- Alves, T. dos S.; Campos, L.L.; Elias Neto, N.; Matsuoka, M.; Loureiro, M.F. 2011. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Scientiarum. Agronomy* 33: 341–347.
- Anderson, T.–H.; Domsch, K.H. 1985. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. *Biology and Fertility of Soils* 1: 81–89.
- Anderson, T.–H.; Domsch, K.H. 1990. Application of eco–physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry* 22: 251–255.
- Araújo, A.S.F.; Santos, V.B.; Monteiro, R.T.R. 2008. Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil. *European Journal of Soil Biology* 44: 225–230.
- Araya, T.; Noguchi, K.; Terashima, I. 2006. Effects of carbohydrate accumulation on photosynthesis differ between sink and source leaves of *Phaseolus vulgaris* L. *Plant and Cell Physiology* 47: 644–652.
- Ashwell, G. 1957. Colorimetric analysis of sugars. In: Colonick, S.P.; Kaplan, N.D. (Eds.), *Methods in Enzymology*, Academic Press, New York, p.73–105.
- Baretta, D.; Santos, J.C.P.; Figueiredo, S.R.; Klauberg–Filho, O. 2005. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29: 715–724.
- Bataglia, O.C.; Cardoso, M.; Carretero, M.V. 1988. Situação nutricional de seringais produtivos no estado de São Paulo. *Bragantia* 47: 109–123.
- Berg, B. 2000. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management* 133: 13–22.

- Berg, B. 2014. Decomposition patterns for foliar litter – A theory for influencing factors. *Soil Biology and Biochemistry* 78: 222–232.
- Birge, H.E.; Conant, R.T.; Follett, R.F.; Haddix, M.L.; Morris, S.J.; Snapp, S.S.; et al. 2015. Soil respiration is not limited by reductions in microbial biomass during long-term soil incubations. *Soil Biology and Biochemistry* 81: 304–310.
- Blagodatsky, S.; Xu, J.; Cadisch, Georg Carbon balance of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations: A review of uncertainties at plot, landscape and production level. 2016. Carbon balance of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations: A review of uncertainties at plot, landscape and production level. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 221: 8–19.
- Bowles, T.M.; Acosta-Martínez, V.; Calderón, F.; Jackson, L.E. 2014. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. *Soil Biology and Biochemistry* 68: 252–262.
- Boyne, A.F.; Ellman, G.L. 1972. A methodology for analysis of tissue sulfhydryl components. *Analytical Biochemistry* 46: 639–653.
- Cakmak, I. 2013. Magnesium in crop production, food quality and human health. *Plant and Soil* 368: 1–4.
- Cardoso, E.J.B.N.; Andreote, F.D. 2016. *Microbiologia do solo*. 2nd ed. Piracicaba, 225p.
- Carneiro, M.A.C.; de Souza, E.D.; Paulino, H.B.; Sales, L.E.O.; Vilela, L.A.F. 2013. Atributos indicadores de qualidade em solos de cerrado no entorno do parque nacional das emas, Goiás. *Bioscience Journal* 29: 1857–1868.
- Carvalho, J.L.N.; Avanzi, J.C.; Silva, M.L.N.; Mello, C.R. de; Cerri, C.E.P. 2010. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34: 277–290.
- Cerri, C.E.P.; Sparovek, G.; Bernoux, M.; Easterling, W.E.; Melillo, J.M.; Cerri, C.C. 2007. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola* 64: 83–99.
- Coleman, J.E. 1992. Structure and mechanism of alkaline phosphatase. *Annual*

Review of Biophysics and Biomolecular Structure 21: 441–483.

Cornish, K. 2017. Rubber Production. 208. In: *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, Vol. 3, 2nd ed. Elsevier, p.410–419.

Cowan, J.A. 2002. Structural and catalytic chemistry of magnesium–dependent enzymes. *BioMetals* 15: 225–235.

d'Andréa, A.F.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Guilherme, L.R.G. 2004. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39: 179–186.

Ding, X.; Zhang, B.; Zhang, X.; Yang, X.; Zhang, X. 2011. Effects of tillage and crop rotation on soil microbial residues in a rainfed agroecosystem of northeast China. *Soil and Tillage Research* 114: 43–49.

Domiciano, D.; Carvalho, P.A.; Oliveira, L.E.M. de; Cárdenaz, H.B.W.; Prudente, D. de O. 2018. Ethrel® stimulant increases the activity of soluble invertase isoforms in rubber tree (*Hevea brasiliensis*) bark tissues. *Australian Journal of Crop Science* 12: 99–107.

Dossou–Yovo, E.R.; Brüggemann, N.; Jesse, N.; Huat, J.; Ago, E.E.; Agbossou, E.K. 2016. Reducing soil CO₂ emission and improving upland rice yield with no–tillage, straw mulch and nitrogen fertilization in northern Benin. *Soil and Tillage Research* 156: 44–53.

Embrapa. 1989. *Melhoramento genético da seringueira*. Manaus, 23p.

Embrapa. 2009. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. In: Silva, F.C. da (Ed.) Brasília, 627p.

Embrapa. 2017. *Manual de métodos de análise de solo*. In: Teixeira, P.C.; Donagemma, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. (Eds.) 326p.

FAO. 2019a. *Crops*. (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>). Accessed on 04 Jan. 2019.

FAO. 2019b. *Crops and livestock products*. (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>). Accessed on 04 Jan. 2019.

Gonçalves, P. de S.; Martins, A.L.M.; Furtado, E.L.; Sambugaro, R.; Ottati, E.L.; Ortolani, A.A.; et al. 2002. Desempenho de clones de seringueira da série IAC 300 na

região do planalto de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 131–138.

Gransee, A.; Führs, H. 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil* 368: 5–21.

Hawkesford, M.; Horst, W.; Kichey, T.; Lambers, H.; Schjoerring, J.; Møller, I.S.; et al. 2012. Functions of macronutrients. In: Marschner, P. (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3rd ed. p.135–189.

Heng, T.S.; Joo, G.K. 2017. Rubber. In: *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, Vol. 3, Elsevier, p.402–409.

Huber, D.M.; Jones, J.B. 2013. The role of magnesium in plant disease. *Plant and Soil* 368: 73–85.

IBGE. 2019. *Produção agrícola municipal*. (<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>). Accessed on 04 Jan. 2019.

Jacob, J.L.; Prévôt, J.C.; Kekwick, R.G.O. 1989a. General metabolism of *Hevea brasiliensis* latex (with the exception of isoprenic anabolism). In: D'Auzac, J.; Jacob, J.L.; Chrestin, H. (Eds.), *Physiology of Rubber Tree Latex: The Laticiferous Cell and Latex—A Model of Cytoplasm*, Boca Raton, p.101–144.

Jacob, J.L.; Prevot, J.C.; Roussel, D.; Lacrotte, R.; Serres, E.; D'Auzac, J.; et al. 1989b. Yield-limiting factors, latex physiological parameters, latex diagnosis and clonal typology. In: D'Auzac, J.; Jacob, J.L.; Chrestin, H. (Eds.), *Physiology of Rubber Tree Latex: The Laticiferous Cell and Latex—A Model of Cytoplasm*, Boca Raton, p.345–382.

Jenkinson, D.S.; Powlson, D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—V. *Soil Biology and Biochemistry* 8: 209–213.

Kuwano, B.H.; Knob, A.; Fagotti, D.S.L.; Melém Júnior, N.J.; Godoy, L.; Diehl, R.C.; et al. 2014. Soil quality indicators in a rhodic kandudult under different uses in northern Parana, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38: 50–59.

Lan, G.; Li, Y.; Jatoi, M.T.; Tan, Z.; Wu, Z.; Xie, G. 2017. Change in soil microbial community compositions and diversity following the conversion of tropical forest to rubber plantations in Xishuangbannan, southwest China. *Tropical Conservation*

Science 10: 1–14.

Lang, R.; Blagodatsky, S.; Xu, J.; Cadisch, G. 2017. Seasonal differences in soil respiration and methane uptake in rubber plantation and rainforest. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 240: 314–328.

Lewinsohn, T.M. 1991. The geographical distribution of plant latex. *Chemoecology* 2: 64–68.

Loss, A.; Pereira, M.G.; Schultz, N.; Anjos, L.H.C. dos; Silva, E.M.R. da. 2010. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. *Bragantia* 69: 913–922.

Lucas, J.A.; García–Cristobal, J.; Bonilla, A.; Ramos, B.; Gutierrez–Mañero, J. 2014. Beneficial rhizobacteria from rice rhizosphere confers high protection against biotic and abiotic stress inducing systemic resistance in rice seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry* 82: 44–53.

Mengutay, M.; Ceylan, Y.; Kutman, U.B.; Cakmak, I. 2013. Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. *Plant and Soil* 368: 57–72.

Moraes, L.A.C.; Moreira, A.; Fontes, J.R.A.; Cordeiro, E.R.; Moraes, V.H. de F. 2011. Assessment of rubber tree panels under crowns resistant to South American leaf blight. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 46: 466–473.

Moraes, L.A.C.; Moraes, V.H. de F.; Moreira, A.; Cordeiro, E.R.; Oliveira, M.C.N. de. 2013. Clones de copa de seringueira resistentes ao mal-das-folhas para o cultivo na Amazônia tropical úmida. *Bragantia* 72: 271–278.

Moraes, V.H.; Moraes, L.A.. 2004. Características do látex do clone de *Hevea brasiliensis* Fx 4098 sob diferentes copas enxertadas de *H. pauciflora*. *Revista de Ciências Agrárias* 42: 97–107.

Moraes, V.H. de F.; Moraes, L.A.C. 2008. Desempenho de clones de copa de seringueira resistentes ao mal-das-folhas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 43: 1495–1500.

Morais, R.R. de; Atroch, A.L.; Cordeiro, E.R. 2018. *Influência da enxertia de copa na fisiologia do látex do clone de seringueira CNSAM 7905 na região de Manaus, AM.*

Manaus, 18p.

Moreira, A.; Moraes, L.A.C.; Cordeiro, E.R.; Fageria, N.K. 2014. Evaluation of rubber tree crown clones for yield and magnesium use efficiency in a Xanthic Ferralsol. *Journal of Plant Nutrition* 37: 1171–1186.

Moreno, R.M.B.; Ferreira, M.; Gonçalves, P. de S.; Mattoso, L.H.C. 2003. Avaliação do látex e da borracha natural de clones de seringueira no Estado de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38: 583–590.

Pegoraro, R.F.; da Silva, I.R.; de Novais, R.F.; de Barros, N.F.; Fonseca, S.; Dambroz, C.S. 2011. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em argissolo sob eucalipto e pastagem. *Ciencia Florestal* 21: 261–273.

Pereira, M.G.; Loss, A.; Júlio, S.; Luis, J.; Torres, R. 2010. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 45: 508–514.

Primieri, S.; Muniz, A.W.; Lisboa, H. de M. 2017. Dinâmica do Carbono no Solo em Ecossistemas Nativos e Plantações Florestais em Santa Catarina. *Floresta e Ambiente* 24: e00110314.

Priyadarshan, P.M. 2017. *Biology of Hevea Rubber*. 2nd ed. Springer International Publishing, Cham, 251p.

Rakotovao, N.H.; Razafimbelo, T.M.; Rakotosamimanana, S.; Randrianasolo, Z.; Randriamalala, J.R.; Albrecht, A. 2017. Carbon footprint of smallholder farms in Central Madagascar: The integration of agroecological practices. *Journal of Cleaner Production* 140: 1165–1175.

Senbayram, M.; Gransee, A.; Wahle, V.; Thiel, H. 2015. Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. *Crop and Pasture Science* 66: 1219.

Senevirathna, A.M.W.K.; Stirling, C.M.; Rodrigo, V.H.L. 2003. Growth, photosynthetic performance and shade adaptation of rubber (*Hevea brasiliensis*) grown in natural shade. *Tree Physiology* 23: 705–712.

Shaul, O. 2002. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *BioMetals* 15: 309–323.

- Sigau, C.U.; Hamid, H.A. 2018. Soil CO₂ efflux of oil palm and rubber plantation in 6-year-old and 22-year-old chronosequence. *Tropical Agricultural Science* 41: 1217–1231.
- da Silva, C.F.; Pereira, M.G.; Miguel, D.L.; Feitora, J.C.F.; Loss, A.; Menezes, C.E.G.; et al. 2012. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do paraíba do sul (RJ). *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 36: 1680–1689.
- Silva, E.E. da; Azevedo, P.H.S. de; De-Polli, H. 2007. *Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C)*. Rio de Janeiro, 6p.
- Silva, J.Q.; Filho, J.A.S.; Gonçalves, P. de S.; Júnior, E.J.S.; Bernardes, M.S.; Souza, G.B. de; et al. 2013. Produção e característica da borracha natural de clones de seringueira sob diferentes sistemas de sangria e em função dos estádios fenológicos. *Agrotropica* 25: 5–10.
- Taussky, H.H.; Shorr, E. 1953. A microcolorimetric method for the determination of inorganic phosphorus. *Journal of Biological Chemistry* 202: 675–685.
- Verbruggen, N.; Hermans, C. 2013. Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants. *Plant and Soil* 368: 87–99.
- Virgens Filho, A.D.C.; Moreira, A.; Castro, P.R. de C. e. 2003. Características físicas e químicas do látex e crescimento da seringueira em função da calagem e da adubação NPK em dois sistemas de exploração. *Ciência e Agrotecnologia* 27: 1237–1245.
- Wardle, D.A. 1992. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews* 67: 321–358.
- Yuan, Z.; Liu, H.; Han, J.; Sun, J.; Wu, X.; Yao, J. 2017. Monitoring Soil Microbial Activities in Different Cropping Systems Using Combined Methods. *Pedosphere* 27: 138–146.
- Zhang, H.; Zhang, G.L.; Zhao, Y.G.; Zhao, W.J.; Qi, Z.P. 2007. Chemical degradation of a Ferralsol (Oxisol) under intensive rubber (*Hevea brasiliensis*) farming in tropical China. *Soil and Tillage Research* 93: 109–116.
- Zhao, Y.; Goldberg, S.D.; Xu, J.; Harrison, R.D. 2018. Spatial and seasonal variation

in soil respiration along a slope in a rubber plantation and a natural forest in Xishuangbanna, Southwest China. *Journal of Mountain Science* 15: 695–707.

Zhou, X.; Chen, C.; Wang, Y.; Xu, Z.; Duan, J.; Hao, Y.; et al. 2013. Soil extractable carbon and nitrogen, microbial biomass and microbial metabolic activity in response to warming and increased precipitation in a semiarid Inner Mongolian grassland. *Geoderma* 206: 24–31.