ReGeo ISSN: 2177-3246

EFEITO DA TERAPIA NUTRICIONAL MINERAL NA REGENERAÇÃO DE TECIDOS DO TRONCO DE *HEVEA BRASILIENSIS*

EFFECT OF MINERAL NUTRITIONAL THERAPY ON TISSUE REGENERATION IN THE TRUNK OF *HEVEA BRASILIENSIS*

EFECTO DE LA TERAPIA NUTRICIONAL MINERAL EN LA REGENERACIÓN DE TEJIDOS DEL TRONCO DE *HEVEA BRASILIENSIS*

https://doi.org/10.56238/revgeov17n11-030

Data de submissão: 05/10/2026 **Data de publicação:** 05/11/2026

Elaine Cristine Piffer Gonçalves
Dra. e Pesq. no Serviço Regional de Pesquisa e Desenvolvimento de Colina (SRPD)
Instituição: Agência de Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA Regional)
E-mail: elaine.piffer@sp.gov.br

Tereza Cristina de Carvalho
Dra. e Pós-Dra., Eng. Agrônoma Prof.ª e Coord. do curso de Agronomia
Instituição: Faculdades Integradas dos Campos Gerais (CESCAGE)
Endereço: Ponta Grossa, PR
E-mail: tcdcarva@gmail.com

Ivana Marino Bárbaro-Torneli
Dra. e Pesq. no Serviço Regional de Pesquisa e Desenvolvimento de Colina (SRPD)
Instituição: Agência de Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA Regional)
E-mail: imarino@apta.sp.gov.br

Anita Schmidek
Dra. e Pesq. no Serviço Regional de Pesquisa e Desenvolvimento de Colina (SRPD)
Instituição: Agência de Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA Regional)
E-mail: anita.schmidek@sp.gov.br

Fernando Bergantini Miguel
Dr. e Pesq. no Serviço Regional de Pesquisa e Desenvolvimento de Colina (SRPD)
Instituição: Agência de Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA Regional)
E-mail: fernando.bergantini@sp.gov.br

José Antonio Alberto da Silva
Dr. e Pesq. no Serviço Regional de Pesquisa e Desenvolvimento de Colina (SRPD)
Instituição: Agência de Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA Regional)
E-mail: jaas@apta.sp.gov.br

Luciano Barreto Dosualdo
Eng. Agr., graduado pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), Especialista em MBA Executivo em Gestão Empresarial e Consultor comercial em Nutrição Vegetal e Biológicos
E-mail: luciano.dosualdo@gmail.com

RESUMO
A seringueira destaca-se na produção de borracha natural devido às propriedades de seu biopolímero e à relevância socioeconômica da heveicultura. No entanto, danos severos ao tronco limitam a produtividade e a longevidade dos seringais, demandando novas soluções para a regeneração tecidual. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência agronômica de um complexo mineral líquido concentrado (composto por nitrogênio, fósforo e zinco) como agente indutor da cicatrização celular e restauração biológica do córtex de seringueiras. O experimento foi conduzido em Palestina-SP, utilizando o clone RRIM-600 com quatro anos de idade, afetado previamente por chuva de pedras e escaldadura solar. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), avaliando-se 10 plantas por bloco em quatro repetições. O tratamento consistiu na aplicação localizada no caule de uma calda concentrada contendo Reduphol Plus ®, ML® e Ubyphós PK®, associada a quatro adubações foliares mensais complementares. A mensuração do comprimento e largura das feridas ocorreu aos 30, 88, 214, 278 e 428 dias após a aplicação inicial. As áreas lesionadas foram estimadas via Regra de Simpson e os dados submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey (α = 5%). Os resultados revelaram uma regressão progressiva e consistente do tecido afetado em todas as árvores ao longo do tempo. O período de maior resposta terapêutica concentrou-se entre os 214 e 278 dias pós-aplicação, intervalo no qual a magnitude das feridas sofreu uma queda drástica em indivíduos com quadros severos. Ao término do monitoramento (428 dias), a eficácia do tratamento consolidou-se com índices residuais mínimos ou nulos de injúria, evidenciando a cicatrização completa da Árvore 1 (0 cm²). Conclui-se que o complexo mineral líquido avaliado é eficiente como indutor de cicatrização no córtex de seringueiras, constituindo uma alternativa viável para o manejo e regeneração física do estande.

Palavras-chave: *Hevea brasiliensis.* Cicatrização Cortical. Reduphol Plus. Nutrição Mineral.

ABSTRACT
The rubber tree stands out in the production of natural rubber due to the properties of its biopolymer and the socioeconomic relevance of heveiculture. However, severe trunk damage limits the productivity and longevity of rubber plantations, demanding new solutions for tissue regeneration. Therefore, the objective of this study was to evaluate the agronomic efficiency of a concentrated liquid mineral complex (composed of nitrogen, phosphorus, and zinc) as an inducing agent for cellular healing and biological restoration of the rubber tree cortex. The experiment was conducted in Palestina, SP, Brazil, using the four-year-old RRIM-600 clone, previously affected by hailstorms and solar scalding. The experimental design adopted was randomized complete blocks (RCBD), evaluating 10 plants per block across four replications. The treatment consisted of localized trunk application of a concentrated mixture containing Reduphol Plus®, ML®, and Ubyphós PK®, associated with four monthly complementary foliar fertilizations. Wound length and width measurements occurred at 30, 88, 214, 278, and 428 days after the initial application. Lesion areas were estimated via Simpson's Rule, and data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test (α = 5%). The results revealed a progressive and consistent regression of the affected tissue in all trees over time. The period of greatest therapeutic response occurred between 214 to 278 days post-application, an interval in which lesion magnitude dropped drastically in individuals with severe conditions. At the end of the monitoring period (428 days), treatment efficacy consolidated with minimal or null residual injury index, evidenced by the complete healing of Tree 1 (0 cm²). It is concluded that the evaluated liquid mineral complex is efficient as a healing inducer in the cortex of rubber trees, constituting a viable alternative for the management and physical regeneration of the stand.

Keywords: *Hevea brasiliensis*. Cortical Healing. Reduphol Plus. Mineral Nutrition.

RESUMEN
El árbol del caucho (*Hevea brasiliensis*) destaca en la producción de caucho natural debido a las propiedades de su biopolímero y a la relevancia socioeconómica de su cultivo. Sin embargo, los daños severos en el tronco limitan la productividad y la longevidad de las plantaciones, lo que exige nuevas soluciones para la regeneración tisular. Ante esto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia agronómica de un complejo mineral líquido concentrado (compuesto por nitrógeno, fósforo y zinc) como agente inductor de la cicatrización celular y la restauración biológica de la corteza en árboles del caucho. El experimento se llevó a cabo en Palestina (São Paulo, Brasil), utilizando el clon RRIM-600 de cuatro años de edad, afectado previamente por granizo y quemaduras solares. Se empleó un diseño experimental de bloques al azar (DBA), evaluando 10 plantas por bloque con cuatro repeticiones. El tratamiento consistió en la aplicación localizada, sobre el tallo, de una mezcla concentrada que contenía Reduphol Plus®, ML® y Ubyphós PK®, complementada con cuatro fertilizaciones foliares mensuales. La medición de la longitud y la anchura de las heridas se realizó a los 30, 88, 214, 278 y 428 días tras la aplicación inicial. Las áreas lesionadas se estimaron mediante la regla de Simpson, y los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y a la prueba de Tukey ($\alpha = 5$ %). Los resultados revelaron una reducción progresiva y consistente del tejido afectado en todos los árboles a lo largo del tiempo. El periodo de mayor respuesta terapéutica se concentró entre los 214 y 278 días posteriores a la aplicación; un intervalo en el cual la magnitud de las heridas experimentó una disminución drástica en los ejemplares que presentaban daños severos. Al finalizar el seguimiento (428 días), la eficacia del tratamiento se consolidó con índices residuales mínimos o nulos de lesión, evidenciando la cicatrización completa del Árbol 1 (0 cm^2). Se concluye que el complejo mineral líquido evaluado es eficiente como inductor de la cicatrización en la corteza de los árboles de caucho, constituyendo una alternativa viable para el manejo y la regeneración física de la plantación.

Palabras clave: *Hevea brasiliensis*. Cicatrización Cortical. Reduphol Plus. Nutrición Mineral.

1 INTRODUÇÃO

Embora mais de 2.000 espécies de plantas superiores produzam látex com poliisoprenos (borracha natural), apenas a seringueira (*Hevea brasiliensis*) estabeleceu-se como espécie-chave na produção comercial global (ARANTES, 2014). Essa consolidação ocorreu em função da excelente qualidade biológica do produto e da viabilidade econômica de seus subprodutos (ASAWATRERATANAKUL et al., 2003). Com propriedades únicas entre os compostos macromoleculares encontrados na natureza, esse biopolímero combina elasticidade, plasticidade e elevada resistência ao desgaste por fricção (GONÇALVES et al., 1990). Além disso, o material destaca-se por suas excelentes propriedades de isolamento elétrico e por sua alta impermeabilidade a fluidos e gases (BAUMANN, 2011).

No cenário agrícola, a heveicultura consolida-se como uma das atividades de maior relevância econômica, social e ambiental (GALBIATI NETO; GUGLIELMETTI, 2012). Ela confere sustentabilidade financeira direta ao homem na pequena propriedade rural e diversifica a composição de renda familiar na unidade produtiva (PEREIRA et al., 1998). Esse arranjo produtivo amplia os ganhos dos produtores e fixa o trabalhador ao campo, reduzindo o fluxo migratório em direção às áreas urbanas (PRADO, 2001). Sob a perspectiva ecológica, a atividade arbórea minimiza os impactos do efeito estufa por meio do sequestro de carbono e melhora as condições físico-químicas das camadas superficiais do solo (EMBRAPA, 2015). O cultivo também atua ativamente na prevenção de processos erosivos e na recuperação de solos severamente empobrecidos (SOUZA, 2018). Por fim, a cadeia agroindustrial da borracha gera empregos diretos e renda aos agricultores, demonstrando uma correlação positiva entre o crescimento econômico regional e o consumo de borracha natural (COSTA, 2020).

O incremento da produtividade de borracha natural assume papel estratégico para o agronegócio brasileiro, dado que o volume nacional produzido é insuficiente para o pleno atendimento da demanda industrial interna (VIRGENS FILHO et al., 2018). Por se tratar de um investimento de capital de longo prazo, a adoção de insumos biotecnológicos e fertilizantes foliares torna-se essencial para acelerar a formação de mudas e antecipar o período de sangria (MORETTI et al., 2020). Desse modo, tecnologias que otimizem a regeneração celular das plantas e potencializem o rendimento do látex agregam alto valor econômico para viveiristas e produtores rurais (SANTOS; OLIVEIRA, 2022).

A sustentabilidade dos seringais é frequentemente ameaçada por fitopatógenos, distúrbios fisiológicos e injúrias mecânicas ou climáticas que comprometem diretamente a integridade do caule e do painel de sangria (ALFENAS et al., 2006; GASPAROTTO et al., 2012). Dentre as principais adversidades bióticas, destacam-se o cancro-estriado (*Phytophthora* sp.) e o cancro do tronco

(*Ceratocystis fimbriata*), fungos oportunistas que colonizam tecidos lesionados, provocando estrias necróticas no lenho, exsudação anormal de látex e o apodrecimento da casca (BERNARDES et al., 2014; PEREIRA, 2018). No âmbito dos fatores abióticos e climáticos, a ocorrência de escaldadura solar em plantas jovens ou recém-podadas provoca a queima dos tecidos corticais, enquanto as injúrias por precipitação de granizo causam ferimentos mecânicos diretos na casca, abrindo severas portas de entrada para esses patógenos secundários (SANTOS et al., 2020). Somado a isso, o estresse térmico e mecânico, associado à sobre-exploração do painel, desencadeia o secamento do painel de sangria (SPS), uma síndrome fisiológica de base oxidativa que paralisa o fluxo do látex, gerando rachaduras e descamações que inviabilizam a exploração comercial da planta (ROCHA et al., 2019). Adicionalmente, o ataque de pragas broqueadoras, como as coleobrocas, perfura e expõe a estrutura lenhosa, fragilizando a resistência mecânica do tronco contra ventos fortes (GASPAROTTO et al., 2012). Portanto, a compreensão sistemática desses fatores de degradação caulinar, bem como formas que recuperem a planta, torna-se indispensável para o delineamento de estratégias de manejo integrado, que visem assegurar a longevidade biológica e a viabilidade econômica dos plantios.

A regeneração cortical do tronco de *Hevea brasiliensis* afetado por distúrbios bióticos e abióticos fundamenta-se em intervenções cirúrgicas de raspagem localizada e tratamentos químicos protetivos (GASPAROTTO et al., 2012). O procedimento consiste na remoção minuciosa dos tecidos necrosados da casca, preservando-se a região cambial necessária para a divisão celular e a reconstituição dos vasos laticíferos (BERNARDES et al., 2014). Na sequência, aplica-se sobre a área delimitada um selamento impermeabilizante à base de piche ou pastas curativas hidrofóbicas enriquecidas com fungicidas (ALFENAS et al., 2006). Essa associação isola os tecidos contra patógenos oportunistas, reduz a desidratação celular e acelera a calogênese, restabelecendo a anatomia do painel e devolvendo a viabilidade produtiva à seringueira (PEREIRA, 2018).

Historicamente, intervenções terapêuticas via tratamentos tópicos de tecidos moles ou adubações localizadas no tronco com foco estrito em regeneração cortical precoce têm sido escassas na heveicultura, que tradicionalmente preconiza apenas a calagem de solo ou o isolamento físico de feridas (Bernardes, 2005). No entanto, estudos preliminares e práticas recentes de manejo fisiológico sistêmico utilizando complexos indutores semelhantes têm demonstrado expressivo sucesso em campo, acelerando de forma substancial as taxas de fechamento de casca sem induzir fitotoxidez cambial (Silveira et al., 2018).

Diante da gravidade desse cenário fitossanitário e da escassez de insumos registrados ou comercialmente recomendados para a terapia cortical da cultura, constata-se a relevância científica e prática deste projeto. A pesquisa teve como objetivo principal avaliar a eficiência agronômica de um

complexo mineral líquido concentrado, composto por nitrogênio, fósforo e zinco, aplicado diretamente sobre o caule das seringueiras, atuando como um agente indutor da cicatrização celular e da restauração do córtex do tronco.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na propriedade Córrego do Ouro, no município de Palestina-SP, num seringal com quatro anos, do clone RRIM-600. Tais plantas foram afetadas primeiro por uma chuva de pedras que provocou inúmeras lesões no tronco das árvores e depois por escaldadura o que agravou as lesões.

O experimento foi instalado nesta área afetada, sendo dividida em quatro blocos, onde foi marcado 10 plantas em cada bloco, totalizando 40 plantas, onde foram feitas medições do comprimento e largura, definindo a dimensão das lesões.

O tratamento consistiu na aplicação localizada de um complexo mineral líquido composto por fósforo (P_2O_5): 30% (teor solúvel em CNA e água), Nitrogênio (N): 6% (nitrogênio total) e Zinco (Zn): 2,5 a 3% (solúvel em água), atuando de forma concentrada como indutor de cicatrização celular no córtex do tronco. A aplicação dos tratamentos via pulverização localizada com costal, contendo calda composta por: 100 mL de Reduphol plus®, 20 mL de ML®, 4, 5 L de Ubyphós PK® e 10 L de água.

Após a aplicação do complexo mineral, realizou-se nestas plantas, quatro adubações foliares periódicas, com auxílio de um turbo atomizador, visando melhorar a nutrição das mesmas e acelerar o processo de regeneração. Para isso, utilizou-se bomba de 1000 litros, com diferentes combinações de produtos conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Produtos utilizados na adubação foliar em plantas de seringueira, aos 30, 90, 150 e 210 dias após a aplicação do complexo mineral.

Época de aplicação do adubo foliar (em dias após o uso do complexo mineral)							
1ª Aplicação: 30 dias		2ª Aplicação: 90 dias		3ª Aplicação: 150 dias		4ª Aplicação: 210 dias	
Volume	Produto	Volume	Produto	Volume	Produto	Volume	Produto
100 mL	Red. Plus	100 mL	Red. plus	100 mL	Red. plus	100 mL	Red. Plus*
2 kg	MS-28	2 kg	MS-2	2 kg	MS-28	2 kg	MS-2
2 L	L-15	2 L	Ubyphós + K	2 L	L-15	2 L	Ubyphós + K
1000 L	Água	1000 L	Água	1000 L	Água	1000 L	Água

* Red. Plus: Reduphol plus; MS: complexo nutricional e fertilizante.
Fonte: Autores.

A composição química elementar do produto MS-2 compreende N (10%), Mg (1%), S (8,8%), B (4%), Cu (0,10%), Mn (4,5%), Mo (0,05%) e Zn (10%). Para o produto L-15, a formulação apresenta

N (15%), P (10%) e K (15%), enquanto o produto MS-28 é constituído por K (1%), S (11,9%), B (4%), Cu (1%), Fe (1%), Mn (6%), Mo (0,5%), Zn (15%) e Co (0,10%).

As medições da regeneração do tronco de seringueiras foram realizadas em intervalos de 30, 88, 214, 278 e 428 dias após a aplicação do complexo mineral. Para isso, utilizou-se fita métrica, considerando os seguintes parâmetros para obter as medidas, o comprimento e a largura das lesões, sendo que para a largura considerou-se 3 partes: a superior (*Ls*), mediana (*Lm*) e inferior (*Lb*) das lesões.

Todos os resultados obtidos das lesões nos troncos, foram convertidos em centímetros quadrados, por meio da Regra de Simpson.

$$Área = \frac{(Ls+4 \times Lm+Lb)}{6} \times comprimento \qquad (1)$$

Os dados de regeneração da casca foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). O delineamento experimental utilizado foi o de Blocos Casualizados (DBC), com quatro repetições. As pressuposições de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Quando detectada diferença significativa pelo teste F ($p < 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

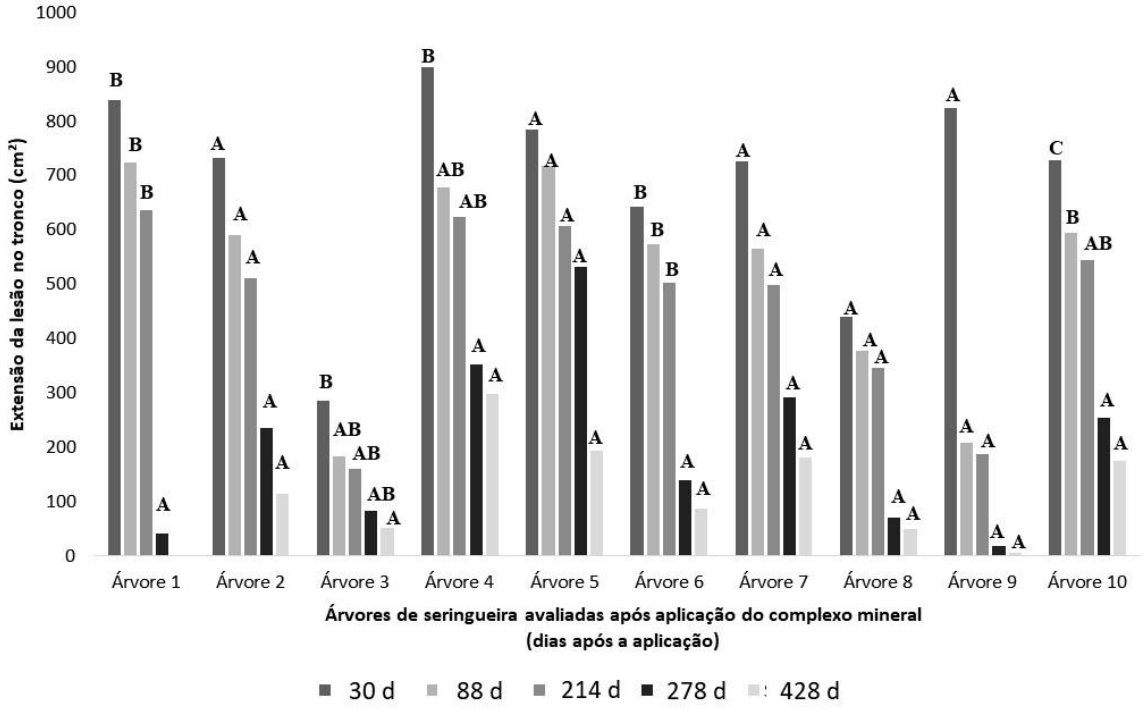
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos da lesão no tronco de árvores de seringueira, bem como o acompanhamento da regeneração destas lesões são apresentados na Figura 1. Verifica-se que muitas plantas após o tratamento conseguiram cicatrização de grande parte da área afetada, mais de 50% da área lesionada, já foi cicatrizada em todas as seringueiras (Figura 1).

A análise dos dados revela uma eficácia notável do complexo mineral aplicado nas dez árvores de seringueira avaliadas (Figura 1). Ao longo do período de monitoramento, representado de forma sequencial da avaliação feita aos 30 dias até 428 dias após a aplicação do complexo mineral líquido, com a função de regenerar a casca de seringueiras, observou-se uma redução progressiva e consistente na extensão das lesões no tronco de todos os indivíduos. Essa tendência decrescente generalizada comprova que o tratamento nutricional estimulou diretamente o processo de cicatrização e reestruturação dos tecidos vegetais, controlando o avanço do dano de maneira linear e segura. Enquanto o desenvolvimento da Árvore 1 tenha sido constatado ao longo dos primeiros 278 dias, a ocorrência de

intempéries climáticas ocasionou a fratura do seu tronco, inviabilizando a avaliação biométrica aos 428 dias.

Figura 1. Avaliação da extensão da lesão no tronco de árvores de seringueira (valores expressos em centímetros quadrados), com avaliações da regeneração no tronco realizadas aos 30, 88, 214, 278 e 428 dias após a aplicação do complexo mineral (Reduphol Plus®).



Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, avaliadas separadamente por árvore, não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância.
Fonte: Autores.

Do ponto de vista da fisiologia vegetal aplicada às seringueiras, o fornecimento estratégico de macro e micronutrientes via complexos minerais, atua como cofator enzimático no metabolismo secundário da planta, otimizando a regeneração celular e a ativação das defesas naturais do córtex contra patógenos oportunistas, conforme discutido por Moraes (1985) e corroborado por ensaios de fertilização mineral em plantas jovens conduzidos por Alvares et al. (2022).

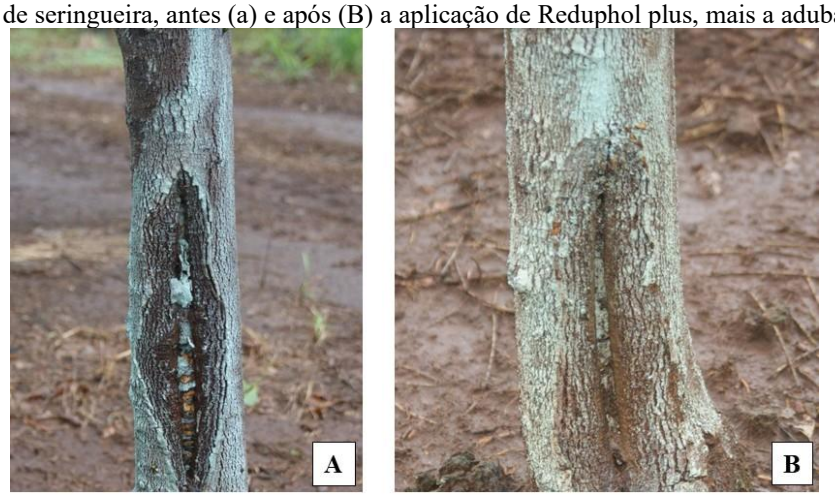
Algumas plantas que estavam sendo avaliadas, durante o experimento foram perdidas, pois houve quebra pelo vento, entre estas plantas cita-se uma das repetições da árvore 1 (Figura 1). A suscetibilidade da seringueira a lesões mecânicas provocadas por ações eólicas é uma limitação biológica comum e bem documentada (Sari et al., 2021). As fortes correntes de vento exercem forças de tração diretamente na copa e no caule da cultura, desencadeando desde a desfolha precoce até quebras estruturais severas (Edzand et al., 2022). Além disso, essas pressões mecânicas geram tensões internas nos tecidos vasculares que reduzem drasticamente a rigidez do tronco (Engonga Edzand et al., 2023). O estresse eólico contínuo também pode atuar como um fator agravante para distúrbios

fisiológicos complexos, a exemplo do secamento do painel de sangria (Bernardes, 2005). Como consequência final de todas essas injúrias físicas, ocorrem perdas irreversíveis na futura capacidade de produção de látex do plantio (Junaidi, 2021).

No início do experimento, com os resultados obtidos aos 30 dias após aplicação do complexo mineral líquido (Figura 1), as árvores apresentavam uma grande variabilidade no tamanho inicial de suas injúrias. A árvore 4 destacou-se com o quadro clínico mais severo do estudo, registrando a maior área de dano ao atingir a marca de 900 cm², seguida de perto pelas árvores 1 e 9, que iniciaram com valores superiores a 800 cm² (Figura 1). Em contrapartida, a árvore 3 demonstrou maior resistência inicial ou menor severidade da doença, começando o monitoramento com uma área lesionada inferior a 300 cm² (Figura 1). Essa variação na magnitude inicial das injúrias de tronco é comum em plantios comerciais e está frequentemente atrelada a fatores de estresse mecânico, como danos por ferramentas de manejo ou rachaduras provocadas por ventos fortes (Pereira et al., 1984). Essas aberturas expõem o câmbio vegetal e funcionam como portas de entrada para patógenos oportunistas e fungos fitopatógenos (Gasparotto et al., 1984). Uma vez instaladas no tecido exposto, essas infecções geram necrose severa e degradação progressiva da madeira estrutural, comprometendo seriamente a longevidade e a capacidade produtiva da árvore (Silveira et al., 2018). Ao atingir a última etapa de avaliação realizada aos 428 dias após aplicação do complexo mineral líquido (Figura 1), a resposta ao tratamento mostra-se amplamente positiva, embora com ritmos de recuperação ligeiramente diferentes entre as seringueiras. Os indivíduos 1, 8 e 9 apresentaram os maiores índices de regeneração do tecido cortical, exibindo cicatrização do painel de sangria praticamente completa e área lesionada residual negligenciável ao término do período experimental (Figura 1). Enquanto as árvores 8 e 9 não tenham apresentado diferença estatística significativa entre si, a regressão da injúria é evidente ao confrontar a extensão inicial da lesão com aquela observada após o tratamento do tronco (Tabela 2). A árvore 8, que inicialmente registrava uma área lesionada de 440 cm², exibiu uma redução para apenas 50 cm² aos 428 dias. Similarmente, a árvore 9, com lesão inicial de 824 cm², demonstrou resposta positiva à regeneração do tronco, reduzindo a área afetada para 5 cm² no mesmo intervalo temporal. Por outro lado, as árvores 4, 5 e 7, apesar de terem respondido muito bem ao complexo mineral com reduções acentuadas em comparação aos seus estados iniciais, ainda mantiveram as maiores áreas de lesão remanescente. Esses resultados sugerem que indivíduos expostos a danos severos ou profundos demandam um tempo maior de exposição ao produto ou doses complementares de manejo para obter a cura total, haja vista que a taxa de fechamento dessas áreas depende diretamente do vigor metabólico de cada planta e de seu status nutricional acumulado ao longo dos ciclos (Alvares et al., 2022).

A Figura 2, ilustra uma imagem da árvore 7, pretendente ao bloco 2, que quando iniciado o tratamento estava com a seguinte lesão: 1,45 m de comprimento (extensão) e 7,0 cm na parte de cima; 11,0 cm na parte do meio e 9,5 cm na parte de baixo (largura), ou seja, 1395,63 cm^2 e após o tratamento ficou com: 1,15 m de comprimento (extensão) e 2,5 cm na parte de cima; 3,5 cm na parte do meio e 4,5 cm na parte de baixo (largura), 402,5 cm^2. A expressiva redução de 71,2% na área afetada da árvore 7 exemplifica o processo de neoformação tecidual estimulado pela correção nutricional. Em seringueiras, a regeneração do córtex lesionado ocorre por meio da ativação do câmbio vascular e do felogênio periférico, que iniciam uma intensa divisão celular para formar o tecido de cicatrização ou calo (MORAES, 1985; JUNQUEIRA et al., 2008). O fornecimento de micronutrientes específicos, como o Zinco (Zn), atua diretamente como ativador da síntese de auxinas e na estruturação da parede celular das novas células corticais, acelerando a velocidade de fechamento lateral e vertical das bordas da casca (ALVARES et al., 2022).

Figura 2. Árvore de seringueira, antes (a) e após (B) a aplicação de Reduphol plus, mais a adubação nutricional.



Fonte: Autores.

A eficiência agronômica demonstrada pelo complexo mineral líquido justifica-se pela ação sinérgica e direcionada de seus componentes, Nitrogênio, Fósforo e Zinco, no sítio da lesão. O Nitrogênio atua diretamente como o bloco construtor de aminoácidos e proteínas estruturais, fornecendo o aporte de biomassa necessário para a intensa divisão celular exigida na formação do calo cicatrizante (MORAES, 1985; FALCÃO et al, 2020). Paralelamente, o Fósforo desempenha um papel energético crucial através da síntese de ATP, suprindo a alta demanda metabólica das células cambiais durante o processo de mitose e diferenciação do novo tecido cortical (SANTOS et al., 2019). No contexto metabólico da *Hevea brasiliensis*, o fósforo também é essencial na estruturação de fosfolipídios de membrana, que garantem a estabilidade e a integridade celular das células laticíferas em regeneração (THONGSONG et al., 2024).

O Zinco, por sua vez, atua como o principal gatilho bioquímico da regeneração neste complexo. Por ser o cofator essencial na síntese do triptofano, precursor do ácido indolacético (AIA), a presença do Zinco eleva as concentrações locais de auxina endógena no tronco (MARSCHNER, 2012). Conforme evidenciado em estudos de propagação vegetativa e regeneração de tecidos de seringueira, o zinco atua como um cofator de enraizamento e diferenciação celular cambial extremamente responsivo (RODRIGUES et al., 2021). Esse hormônio vegetal estimula o alongamento e a diferenciação das células do câmbio vascular, acelerando o fechamento físico das bordas do córtex e restabelecendo o fluxo normal de seiva e a proteção natural da planta contra o estresse biótico e mecânico. Além do fechamento físico da ferida, a aplicação do complexo mineral potencializa a barreira química do tronco contra fitopatógenos oportunistas, que frequentemente colonizam tecidos expostos e provocam o apodrecimento da madeira (SANTOS et al., 2019). Dessa forma, a aplicação tópica e localizada cumpre um papel duplo: atua como agente cicatrizante e como indutor de resistência sistêmica local, garantindo que a redução observada nas dez árvores ocorra de maneira biologicamente segura e sustentável ao longo do tempo (MORAES, 1985; MARSCHNER, 2012).

A avaliação temporal da área de lesão nos troncos de seringueira (*Hevea brasiliensis*) revelou um padrão consistente e acentuado de regressão do tecido afetado após a aplicação do complexo mineral Reduphol Plus (Tabela 2).

Tabela 2. Dados médios da avaliação da regeneração da lesão no tronco de árvores de seringueira (valores expressos em centímetros quadrados), realizadas aos 30, 88, 214, 278 e 428 dias após a aplicação do complexo mineral (Reduphol Plus).

Dias após aplicação	Árvore 1	Árvore 2	Árvore 3	Árvore 4	Árvore 5	Árvore 6	Árvore 7	Árvore 8	Árvore 9	Árvore 10
30	837 B	731 A	286 B	898 B	783 A	642 B	726 A	440 A	824 A	727 C
88	724 B	589 A	182 AB	678 AB	716 A	574 B	564 A	377 A	207 A	593 BC
214	636 B	511 A	160 AB	623 AB	607 A	501 B	498 A	345 A	187 A	544 B
278	42 A	236 A	82 AB	351 A	532 A	139 A	292 A	70 A	18 A	254 A
428	0	113 A	51 A	298 A	194 A	87 A	181 A	50 A	5 A	174 A
CV	30,47	48,32	48,32	18,48	36,08	54,63	46,23	60,4	103,42	22,7

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey com 5% de significância.
Fonte: Autores.

Inicialmente, no período compreendido entre os 30 e 88 dias após a aplicação, observou-se o estabelecimento do processo cicatricial em todas as árvores avaliadas (Tabela 1). Nesse primeiro intervalo, destacam-se as reduções expressivas observadas na Árvore 9, que declinou de 824 cm² para 207 cm², e na Árvore 3, que reduziu sua área lesionada de 286 cm² para 182 cm². Essa resposta inicial rápida mitiga de forma precoce a desfolha e os danos estruturais que fragilizam o caule contra a ação de ventos fortes (Sari et al., 2021). Entre os 88 e 214 dias, a taxa de regeneração demonstrou uma sutil

estabilização em indivíduos como a Árvore 5 (716 cm² para 607 cm²) e a Árvore 7 (564 cm² para 498 cm²), comportamento biológico que coincide com o período necessário para que as defesas celulares e os tecidos cambiais iniciem a deposição de camadas de calo sobre o lenho exposto (Yun et al., 2025).

O período de maior resposta terapêutica e fechamento vertical das feridas concentrou-se fortemente entre os 214 e 278 dias pós-aplicação (Tabela 1). Nesse intervalo de apenas 64 dias, houve uma queda drástica na magnitude das lesões em praticamente todas as repetições: a Árvore 1 apresentou uma redução de 636 cm² para apenas 42 cm²; a Árvore 4 passou de 623 cm² para 351 cm²; e a Árvore 8 encolheu de 345 cm² para 70 cm². Essa alta velocidade de fechamento é crucial para o manejo de seringais, pois reduz o tempo de exposição do lenho a patógenos oportunistas e fungos fitopatógenos que colonizam tecidos desprotegidos (Gasparotto et al., 1984). Ao restabelecer a integridade da casca nesse ritmo acelerado, o complexo mineral impede que o dano progrida para necroses severas e degradação da madeira estrutural (Silveira et al., 2018). Aos 428 dias de monitoramento, a eficácia do produto consolidou-se com índices residuais mínimos ou nulos de injúria. A Árvore 1 alcançou a cicatrização completa (0 cm²), seguida por marcas quase imperceptíveis na Árvore 9 (5 cm²) e reduções severas na Árvore 8 (50 cm²) e Árvore 3 (51 cm²), partindo de patamares iniciais muito mais elevados. Essa regeneração bem-sucedida do tecido cortical e vascular da planta restabelece a rigidez biomecânica e o fluxo de seiva do tronco, atuando diretamente na prevenção de distúrbios fisiológicos secundários do manejo, tais como o secamento do painel de sangria (Bernardes, 2005). Embora o elevado coeficiente de variação (CV) verificado em indivíduos como a Árvore 9 (103,42%) e a Árvore 8 (60,40%) evidencie as respostas biológicas distintas de cada planta sob condições de campo, a tendência de declínio é unânime e expressiva em todo o lote. Diante dos resultados quantitativos expostos, conclui-se que o uso do complexo mineral acelera o fechamento de lesões no tronco, preservando a integridade física da árvore e protegendo o estande contra perdas irreversíveis na futura capacidade de produção de látex (Junaidi et al., 2021).

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que o complexo mineral líquido composto por fósforo, nitrogênio e zinco é eficiente como indutor de cicatrização no córtex do tronco de seringueiras. A aplicação concentrada diretamente no caule promoveu uma redução progressiva e consistente na extensão das lesões em todas as árvores avaliadas ao longo do tempo. O tratamento mostrou-se capaz de recuperar desde injúrias leves até quadros mais severos, consolidando-se como uma alternativa viável para o manejo e a regeneração tecidual em plantios de seringueira.

REFERÊNCIAS

ALFENAS, A.C.; ZAUZA, É.A.; MAFIA, R.G.; ASSIS, T.F. **Clonagem e Doenças da Seringueira**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 500 p.

ALVARES, C.A.; SOUZA, J.R.; SILVA, M.E.; OLIVEIRA, F.A. Ensaios de fertilização mineral em plantas jovens de seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 46, n. 2, p. 1-15, 2022.

ARANTES, F. C. **Caracterização molecular e bioquímica do látex de *Hevea brasiliensis*.** 2014. 120 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

ASAWATRERATANAKUL, K.; SOTTHIBANDHU, R.; WITSUTIPHAKHUL, O.; CHREESTI, R.; WITSUTIPHAKHUL, S.; BOONMEEPRAKOB, A.; WITITSUTIPHAKUL, T. Molecular cloning, expression and characterization of rubber elongation factor from Hevea brasiliensis. **European Journal of Biochemistry**, v. 270, n. 11, p. 2471-2480, 2003.

BAUMANN, M. G. **Polyisoprene and natural rubber:** properties and engineering applications. London: Polymer Science Press, 2011. 245 p.

BERNARDES, M. S. **Avanços na explotação da seringueira: sangria e estimulação**. 1. ed. Piracicaba: ESALQ - Departamento de Produção Vegetal, 2005. 33 p.

BERNARDES, M.S.; CASTRO, P.C.; OLIVEIRA, R.M.; GOMES, F.H. Manejo cultural e fitossanitário em seringais sob condições de estresse. **Revista Brasileira de Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 2, p. 115-128, 2014.

COSTA, B. A. **Seringueira (*Hevea brasiliensis*) e o conhecimento popular no Estado do Pará:** importância histórica e econômica para a Região Amazônica. Belém: UFRA, 2020. 115 p.

EMBRAPA. **Catálogo de Projetos da Embrapa sobre Serviços Ecossistêmicos e Mitigação de Gases de Efeito Estufa**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 88 p.

ENGONGA EDZAND, A. C.; NIEZ, B.; HEIM, L.; FOURCAUD, T.; GRIL, J.; MOULIA, B.; BADEL, E. Wind safety of rubber trees in plantations: methodological analysis of bending experiments on inclined standing trees. **Bois et Forêts des Tropiques,** v. 354, p. 75-87, 2022.

FALCÃO, N.P.S; REIS, G.M.; GONÇALVES, P. de S. Adubação NPK afetando o desenvolvimento do caule e espessura da casca da seringueira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 48, n. 126, p. e3124, 2020.

GALBIATI NETO, P.; GUGLIELMETTI, L. C. **Heveicultura:** a cultura da seringueira. São José do Rio Preto: Grafisa Santos, 2012. 160 p.

GASPAROTTO, L.; SANTOS, Á.F. dos; PEREIRA, J.C.R.; FERREIRA, F.A. **Doenças da seringueira no Brasil**. 2. ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2012. 256 p.

GASPAROTTO, L.; TRINDADE, D. R.; SILVA, S. E. L. **Enfermidades da seringueira no Brasil.** Embrapa-CPAA. Circular Técnica, n. 390, p. 1-33, 1984.

GONÇALVES, P. de S.; BATAGLIA, O.C.; ORTOLANI, A.A.; FONSECA, F.S. Manual de heveicultura para o Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1990. 64 p. (Boletim Técnico, 131).

JUNAIDI, J.; WIBOWO, S. A.; WIJAYA, A. Wind damage and yield recovery in rubber (*Hevea brasiliensis*) plantation. **IOP Conference Series:** Earth and Environmental Science, v. 759, 2021.

JUNQUEIRA, N.T.V.; SILVA, J.R.; SANTOS, M.E. **Doenças da seringueira**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. 32 p. (Documentos, 215).

MARSCHNER, H. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2012. 651 p.

MORAES, V. H. F. **Fisiologia da seringueira**. Belém: Embrapa-CPATU, 1985. 84 p.

MORAES, V. H. F. **Fisiologia da seringueira:** Metabolismo secundário e nutrição mineral. Belém: SUDHEVEA/FCAP, 1985. 40p. Disponível em: Livraria EPAMIG.

MORETTI, L. G.; BRACCINI, A.L.B; SOUZA, A.S.; SARAIVA, M.A.S.; FERRI, G.C.F.; LAPAZ, A.B.L. Uso de bioestimulantes e fertilizantes foliares na aceleração do desenvolvimento de mudas de *Hevea brasiliensis*. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 89-98, 2020.

PEREIRA, A.V. **Manejo integrado de pragas e doenças no painel de sangria de *Hevea brasiliensis***. São Paulo: FEALQ, 2018. 184 p.

PEREIRA, J. C. R.; SANTOS, A. F.; CAMPÊLO, A. M. F. L. **Doenças do tronco da seringueira (*Hevea brasiliensis*).** Informe Técnico - CEPLAC, v. 12, p. 14-25, 1984.

PEREIRA, J. da P.; DORETTO, M.; LEAL, A.C.; CASTRO, A.M.G.; RUCKER, N.A. **Cadeia produtiva da borracha natural: análise diagnóstica e demandas atuais no Paraná.** Londrina: IAPAR, 1998. 42 p.

PRADO, A. A. **Economia e mercado da borracha natural**. São Paulo: Apabor, 2001. 98 p.

ROCHA, J.R. de M.; SOUZA, C.A.de; MARTINS, V.S.; CARVALHO, A.P. Fisiologia do secamento do painel de sangria em clones de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 54, e00342, p. 1-10, 2019.

RODRIGUES, A.C.; COSTA, B.S.; MORAES, V.H.; MARTINS, R.J. Zinc as a rooting and cellular differentiation cofactor in rubber tree mini-cuttings (*Hevea brasiliensis*). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 37, n. 1, p. e37012, 2021.

SANTOS, M.A.; PEREIRA, L.G.; LIMA, R.S. Manejo nutricional e fitossanitário do painel de sangria em plantios comerciais de *Hevea brasiliensis*. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 42, n. 3, p. 745-755, 2019.

SANTOS, R.T. dos; ANDRADE, M.C.; LIMA, F.A.; SILVA, J.R. Impacto de distúrbios abióticos e injúrias climáticas na integridade do córtex de *Hevea brasiliensis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 1042-1055, 2020.

SANTOS, T. R.; OLIVEIRA, M. A. Rentabilidade econômica e inovações tecnológicas na heveicultura brasileira. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 20, n. 3, p. 112-130, 2022.

SARI, M.; PRASODJO, N.; ALVARO, M. Wind damage and yield recovery in rubber (Hevea brasiliensis) plantation. **Journal of Rubber Research**, v. 24, p. 125–135, 2021.

SILVEIRA, P. R.; PEREIRA, G. M.; ROCHA, R. B. **Manejo fitossanitário do painel de sangria e tecidos lenhosos da seringueira.** Embrapa Rondônia - Comunicado Técnico, n. 412, p. 1-8, 2018.

SOUZA, R. F. Manejo e conservação de solos em sistemas agroflorestais de seringueira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 115-128, 2018.

THONGSONG, P.; KAWAHARA, S.; LIENGPRAYOON, S. Natural reinforcement in Hevea rubber: Functional roles of non-rubber components and membrane phospholipids. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 214, n. 2, p. 118-129, 2024.

VIRGENS FILHO, A. de C.; GONÇALVES, P.S.; CASTRO, R.S.C.A.; MAY, A. Mercado, produção e importação de borracha natural no cenário econômico brasileiro contemporâneo. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 2, p. 143-152, 2018.

YUN, T.; EICHHORN, M. P.; JIN, S.; YUAN, X.; FANG, W.; LU, X.; WANG, X.; ZHANG, H. A framework for phenotyping rubber trees under intense wind stress using laser scanning and digital twin technology. **Agricultural and Forest Meteorology,** v. 360, 2025.