

Cinturão Verde:

Sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

Aureliano Nogueira da Costa
(Organizador)



Cinturão Verde:

Sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

Aureliano Nogueira da Costa
(Organizador)



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

ArcelorMittal, arquivos internos

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás



Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas



Cinturão verde: sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo
Correção: Bruno Oliveira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Aureliano Nogueira da Costa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C575 Cinturão verde: sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço / Organizador Aureliano Nogueira da Costa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0002-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.028223003>

1. Reserva da Biosfera do Cinturão Verde (São Paulo, SP). 2. Aço. 3. Sustentabilidade. I. Costa, Aureliano Nogueira da (Organizador). II. Título.

CDD 333.7098161

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.





GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO
*Secretaria da Agricultura,
Abastecimento, Aquicultura e Pesca*



ArcelorMittal

EQUIPE DE PESQUISA

Ações desenvolvidas no projeto **Cinturão Verde** para avaliar o desempenho de espécies florestais nativas e exóticas do Bioma Mata Atlântica, como quebra-ventos arbóreos em pátios de estocagem de carvão e minério, comparado com ambiente com baixo estresse abiótico, deram subsídio para a elaboração desta publicação.

Pesquisadores do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e profissionais que prestam serviços à Fundação de Desenvolvimento e Inovação Agro Socioambiental do Espírito Santo (Fundagres Inovar), da ArcelorMittal e de outras instituições parceiras estão inseridos na equipe de autoria desta publicação.

Entretanto, para a condução dos trabalhos de pesquisa, específicos do projeto, enalteçemos e destacamos a participação dos profissionais que contribuiram diretamente para o sucesso deste trabalho e conseqüentemente, para a publicação desta obra:

Aureliano Nogueira da Costa - Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador do Incaper.

Bernardo Enne Corrêa da Silva – Biólogo, Especialista em Gestão Ambiental, Gerente de Sustentabilidade e meio Ambiente da ArcelorMittal Tubarão.

Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho - Engenheiro Florestal, Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, Gerente de Agroecologia e Produção Vegetal da SEAG.

Adelaide de Fátima Santana da Costa - Engenheira Agrônoma, Doutora em Fitotecnia, Pesquisadora do Incaper.

Diolina Moura Silva - Bióloga, Doutora em Fisiologia Vegetal, Professora da UFES.

Fabio Favarato Nogueira - Engenheiro Florestal, Pesquisador Bolsista da Fundagres Inovar.

Roberta Cristina Cotta Duarte Conde - Engenheira Agrônoma e Bióloga, Pesquisadora Bolsista da Fundagres Inovar.

Marco Aurélio de Abreu Bortolini - Engenheiro Ambiental, Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade, Pesquisador Bolsista da Fundagres Inovar.

Charles Falk -Tecnólogo de Nível Superior em Saneamento Ambiental, MBA em Gestão Ambiental, Pesquisador Bolsista da Fundagres Inovar.

Letícia Pereira Rocha - Engenheira de Produção, Pesquisadora Bolsista da Fundagres Inovar.

PREFÁCIO

A história do Cinturão Verde da ArcelorMittal Tubarão teve início nos primórdios da produção de aço na então Companhia Siderúrgica de Tubarão, a qual entrou em operação em 1983. O Cinturão Verde nasceu a partir de um viveiro de mudas, idealizado para produzir espécies florestais heterogêneas que seriam destinadas ao plantio na antiga área de pastagens de animais que deu origem a essa importante siderúrgica.

As mudas foram plantadas pelos empregados que apoiaram a iniciativa de recomposição verde na área industrial para criar uma barreira natural de redução da velocidade dos ventos nos pátios de estocagem, além de trazer maior embelezamento, sombreamento e melhoria da qualidade de vida. O resultado desse trabalho pode ser visto hoje em uma extensa e variada área verde que abriga inúmeras espécies da fauna e flora, com cerca de 2,6 milhões de árvores plantadas. Seu legado é considerado um ativo ambiental de referência em cobertura verde e biodiversidade na Grande Vitória, motivo de grande orgulho para a Empresa!

Para garantir a contínua evolução desse arrojado trabalho, a empresa firmou o que é considerada uma das mais importantes parcerias público-privadas para o desenvolvimento de ações estratégicas de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas áreas de silvicultura e meio ambiente do Estado do Espírito Santo: o **Projeto Cinturão Verde**. Projeto esse realizado entre a ArcelorMittal e o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), autarquia ligada à Secretaria de Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca (Seag), que foi concebido para desenvolver pesquisas que identifiquem as melhores espécies (e combinações entre elas) para plantio na área, gerando não só uma eficiente barreira, mas também todos os benefícios atrelados à área verde.

Preservar e gerir os recursos naturais de forma eficiente e responsável faz parte das 10 diretrizes do desenvolvimento sustentável da ArcelorMittal, que tem o compromisso com as gerações futuras de produzir um aço sustentável.

Esta publicação traz os resultados desse intenso trabalho e almeja servir como importante fonte bibliográfica para estudantes, profissionais e demais interessados na área de meio ambiente.

Bernardo Enne Corrêa da Silva - ArcelorMittal Tubarão

APRESENTAÇÃO

Os Cinturões Verdes, quebra-ventos ou *windbreaks* são considerados sistemas agroflorestais lineares de árvores e arbustos, dispostos em direção perpendicular aos ventos dominantes, que coadunam tecnologia, inovação e sustentabilidade em prol do meio ambiente.

Em regiões com incidência de ventos muito fortes e grande perda da umidade do solo, o Cinturão Verde pode contribuir para a manutenção dessa umidade e redução da temperatura, o que propicia condições favoráveis à biodiversidade, além de reduzir a erosão provocada pelo impacto da chuva no solo. Têm sido também utilizados, pelo setor industrial, como barreira de redução da velocidade dos ventos, para minimizar o potencial de arraste de partículas em pátios de estocagem de insumos. A escolha das espécies mais adequadas, quanto à adaptabilidade às condições edafoclimáticas locais, é o passo inicial para o sucesso de sua implantação.

Esta obra, intitulada ***Cinturão Verde: sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço***, apresenta resultados de pesquisas realizadas com o intuito de identificar as espécies agronômicas e florestais para a composição de quebra-ventos, em ambiente industrial, na ArcelorMittal Tubarão. Para maior eficácia, foi realizado um estudo comparativo entre o desenvolvimento das plantas em ambiente industrial, diretamente influenciado pela ação antrópica, e em ambiente livre de ação antrópica, em condições naturais de Mata Atlântica.

Nos diferentes capítulos desta publicação, são apresentados os trabalhos de avaliação da capacidade das espécies em suportar as variações nas condições ambientais e sua adaptação à presença de materiais particulados, destacando-se as respostas ao manejo de solo e sua interferência nas características física e química; disponibilidade de nutrientes e recomendação de adubação; presença de matéria orgânica; monitoramento de metais pesados; respostas aos tratamentos culturais; análises dendrométricas, qualitativas e de sobrevivência; comportamento fisiológico, como também retenção de materiais particulados pelo dossel vegetativo.

Agradecemos aos autores pela contribuição para o sucesso desta obra.

Aureliano Nogueira da Costa – Incaper / Fundagres Inovar

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ORIGEM E APLICAÇÃO DE QUEBRA-VENTOS

Aureliano Nogueira da Costa
Cesar Junio de Oliveira Santana
Adelaide de Fátima Santana da Costa
Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho
Maria da Penha Padovan
Letícia Pereira Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230031>

CAPÍTULO 2..... 20

CINTURÃO VERDE DA ARCELORMITTAL TUBARÃO

Bernardo Enne Corrêa da Silva
João Bosco Reis da Silva
Ramon Melo Gonçalves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230032>

CAPÍTULO 3..... 35

ESTUDOS DE EFICIÊNCIA DE CONTROLE DO CINTURÃO VERDE

Bernardo Enne Corrêa da Silva
João Bosco Reis da Silva
Guilherme Corrêa Abreu
Luciana Corrêa Magalhães

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.028223003>

CAPÍTULO 4..... 43

ESPÉCIES ARBÓREAS PARA INSTALAÇÃO DE QUEBRA-VENTOS

Aureliano Nogueira da Costa
Reynaldo Campos Santana
Cesar Junio de Oliveira Santana
Israel Marinho Pereira
Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho
Charles Falk

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230034>

CAPÍTULO 5..... 53

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA ADAPTAÇÃO DE ESPÉCIES AGRONÔMICAS E FLORESTAIS COMO QUEBRA-VENTOS EM AMBIENTES SIDERÚRGICOS

Aureliano Nogueira da Costa
Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho
Adelaide de Fátima Santana da Costa
Diolina Moura Silva

Bernardo Enne Corrêa da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230035>

CAPÍTULO 6..... 69

FERTILIDADE DE SOLOS DE CINTURÃO VERDE EM AMBIENTES INDUSTRIAIS

Aureliano Nogueira da Costa
Bernardo Enne Corrêa da Silva
Rogério Carvalho Guarçoni
Adelaide de Fátima Santana da Costa
Marco Aurélio de Abreu Bortolini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230036>

CAPÍTULO 7..... 87

DIAGNOSE FOLIAR E NUTRIÇÃO DE ESPÉCIES AGROFLORESTAIS CONDUZIDAS EM CINTURÃO VERDE

Aureliano Nogueira da Costa
Bernardo Enne Corrêa da Silva
Rogério Carvalho Guarçoni
Fabio Favarato Nogueira
Roberta Cristina Cotta Duarte Conde

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230037>

CAPÍTULO 8..... 124

AVALIAÇÕES DENDROMÉTRICAS DE ESPÉCIES AGROFLORESTAIS EM CINTURÃO VERDE

Pedro Luís Pereira Teixeira de Carvalho
Bernardo Enne Corrêa da Silva
Fabio Favarato Nogueira
Aureliano Nogueira da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230038>

CAPÍTULO 9..... 134

EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA DE ESPÉCIES AGROFLORESTAIS UTILIZADAS COMO CINTURÃO VERDE EM AMBIENTES SIDERÚRGICOS

Diolina Moura Silva
Thaís Araujo dos Santos
Xismênia Soares Silva Gasparini
Pedro Mazzocco Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0282230039>

CAPÍTULO 10..... 152

RETENÇÃO DE MATERIAIS PARTICULADOS PELO CINTURÃO VERDE NOS PÁTIOS DE MINÉRIO E CARVÃO DA ARCELORMITTAL TUBARÃO: ESTUDO DE CASO

Aureliano Nogueira da Costa

Charles Falk
Letícia Pereira Rocha
Marco Aurélio de Abreu Bortolini
Roberta Cristina Cotta Duarte Conde
Adelaide de Fátima Santana da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02822300310>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 162

SOBRE OS AUTORES 163

DIAGNOSE FOLIAR E NUTRIÇÃO DE ESPÉCIES AGROFLORESTAIS CONDUZIDAS EM CINTURÃO VERDE

Data de aceite: 08/02/2022

Aureliano Nogueira da Costa

Bernardo Enne Corrêa da Silva

Rogério Carvalho Guarçoni

Fabio Favarato Nogueira

Roberta Cristina Cotta Duarte Conde

1 | INTRODUÇÃO

A diagnose foliar e nutrição mineral de plantas vem sendo utilizada com sucesso nos estudos de monitoramento e diagnóstico do estado nutricional de plantas, com grandes avanços na avaliação e monitoramento do equilíbrio entre os nutrientes, evitando os danos causados tanto por excesso quanto por deficiência nutricional.

A avaliação da fertilidade de solos e da nutrição de plantas quando realizada por meio da análise química dos nutrientes no solo, em conjunto com a análise foliar, proporciona uma interação dos fatores solo-planta com maior capacidade e qualidade do diagnóstico do estado nutricional e a recomendação de adubação (COSTA, 1996). Nesse contexto, Munson e Nelson (1973) destacam que o teor do nutriente na planta é resultante da ação e interação entre os fatores que afetam a disponibilidade do

nutriente no solo e a sua absorção pela planta.

O estado nutricional de plantas e suas interações entre os nutrientes e a fertilidade do solo podem ser avaliados utilizando-se o diagnóstico nutricional por meio da análise foliar, que considera a existência de uma relação direta entre os nutrientes e o crescimento e desenvolvimento das plantas.

Diversos fatores interferem na disponibilidade dos nutrientes no solo e sua absorção pelas plantas, uma vez que estas apresentam diferenças entre si quanto ao teor de nutrientes foliares, mesmo em ambientes edáficos semelhantes (HARIDASAN, 1998). Mesmo assim, podem refletir a disponibilidade de nutrientes e, de forma indireta, a fertilidade dos solos sobre os quais se encontram (HARIDASAN; ARAÚJO, 1988).

A avaliação da nutrição mineral das plantas cultivadas em ambientes da Mata Atlântica e Industrial é fundamental para identificar, de forma comparativa, o efeito do ambiente e a interação nutricional no crescimento e desenvolvimento dessas espécies para subsidiar o manejo adequado das espécies agrônômicas e florestais e sua recomendação como quebra-ventos. A implantação e o cultivo de espécies de interesse econômico e florestal em sistemas agroflorestais é uma importante ação para a cobertura verde, que, além de contribuir para a redução da concentração de CO₂ na atmosfera, exerce

importante papel como barreira verde para a redução da velocidade do vento.

Nesse sentido, as pesquisas científicas com a utilização de espécies agrônômicas e florestais na formação de quebra-vento desenvolvidas no Estado do Espírito buscam avaliar a utilização de cultivos em sistemas agroflorestais em ambientes da Mata Atlântica e em pátios industriais para formar uma barreira vegetal e reduzir a velocidade do vento e o seu potencial de arraste de particulados.

2 I NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS

A nutrição mineral de plantas é um importante fator no sistema de produção, considerado fundamental para o crescimento e desenvolvimento, produtividade, qualidade e longevidade das plantas. A importância da nutrição mineral no aumento da produtividade é citada como o principal fator de produção (LIEBIG, 1873 apud MARSCHNER, 1995).

Os nutrientes exercem funções específicas e essenciais no metabolismo vegetal. Dentre os mais de 100 elementos químicos existentes na natureza, 11 são considerados essenciais para as plantas, denominados de macronutrientes e micronutrientes.

Outra classificação também é admitida com base nas propriedades físico-químicas, subdividindo esses elementos químicos em metais (potássio, cálcio, magnésio, ferro, manganês, zinco, cobre, molibdênio e níquel) e não metais (nitrogênio, enxofre, fósforo, boro e cloro). Porém, neste capítulo, será utilizada preferencialmente a classificação de macronutrientes e micronutrientes.

A determinação da disponibilidade do nutriente no solo é realizada por meio da análise química do solo, de forma rotineira, em laboratórios de análise de solo, para dar suporte à recomendação de adubação e satisfazer às necessidades de nutrientes para as plantas. A existência de nutrientes no solo, mesmo que supostamente em quantidades disponíveis suficientes, não garante o suprimento às plantas, em razão da influência de vários fatores no processo de absorção. Assim, a avaliação e o monitoramento do estado nutricional de plantas, com o auxílio dos resultados de análises foliares, é uma prioridade na agricultura sustentável (COSTA, 1995).

Os estudos de diagnose foliar utilizam amostragens foliares, com procedimentos para coleta e análises que seguem metodologias padronizadas, com a lavagem das folhas para retirar os particulados presentes na superfície foliar. Para as pesquisas realizadas no cinturão verde, foram utilizados dois procedimentos para análises foliares, sendo um com lavagem padrão das folhas para evitar a contaminação ou interferência de minerais presentes na superfície e outro sem a lavagem das folhas para verificar a interferência dos particulados presentes na superfície foliar.

Assim, esse estudo realizado por meio da diagnose foliar apresenta como diferencial

o uso de folhas lavadas e não lavadas, com amostragens foliares para cada espécie, nos três ambientes, para a determinação dos teores de macro e micronutrientes, seguindo a metodologia detalhada no Capítulo 5 desta publicação.

3 | ELEMENTOS ESSENCIAIS

A análise química da planta identifica os minerais presentes nos tecidos vegetais e não necessariamente são considerados elementos essenciais.

As plantas podem absorver os elementos essenciais, os benéficos e os tóxicos presentes no solo, sem seletividade, podendo estes últimos, inclusive, comprometer o equilíbrio nutricional, levando à morte da planta. Dessa forma, todos os elementos essenciais podem estar presentes nos tecidos das plantas, mas nem todos os elementos presentes são essenciais.

Segundo Arnon e Stout (1939) e Ingen-Housz (século XIX), citado por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), um elemento é considerado essencial quando satisfaz a dois critérios de essencialidade:

- a. Direto: O elemento participa de algum composto ou de alguma reação, sem o qual ou sem a qual a planta não sobrevive.
- b. Indireto: Trata-se basicamente de um guia metodológico – na ausência do elemento a planta não completa seu ciclo de vida; o elemento não pode ser substituído por nenhum outro; o elemento, com sua presença no meio, deve ter um efeito direto na planta e não exercer apenas o papel de neutralizar efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis.

4 | AMOSTRAGEM FOLIAR

Os métodos padronizados de amostragem foliar tornam-se mais eficazes na avaliação do estado nutricional da planta com a grande vantagem de considerar a própria planta como o extrator dos nutrientes do solo, o que permite a avaliação direta do estado nutricional, constituindo-se em uma forma indireta de avaliação da fertilidade do solo, utilizando-se os princípios da relação solo-planta (COSTA, 1996; COSTA, 2003).

A amostragem foliar é o primeiro passo da diagnose foliar, a qual identifica o estado nutricional das plantas.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as funções de cada macro e micronutrientes e as respectivas sintomatologias provocadas pelas deficiências dos mesmos, de forma geral.

O monitoramento do estado nutricional por meio da diagnose foliar, nos três ambientes

analisados, mostrou-se importante, e sua eficiência foi constatada pela inexistência de sintomas visuais de deficiência ou excesso de nutrientes. Esses resultados corroboram a importância da diagnose foliar na correção dos desequilíbrios nutricionais de forma precoce, evitando a evolução da deficiência ou excesso e consequente dano à planta.

MACRONUTRIENTES		
Nutrientes	Função	Sintomas
Nitrogênio (N)	O nitrogênio é constituinte de aminoácidos, amidas, aínas, bases nitrogenadas, alcalóides, clorofila e muitas coenzimas. Muitos aminoácidos são precursores das cadeias polipeptídicas das proteínas, desse modo o nitrogênio influencia muitas reações enzimáticas. O nitrogênio é também componente estrutural das paredes celulares.	A deficiência de nitrogênio se manifesta nas folhas mais velhas na forma de clorose foliar devido à redução da formação da clorofila. Quando as folhas mais velhas senescem, a proteína é degradada e formas solúveis de N são retranslocadas no floema para os pontos de crescimento da planta, ou seja, para as partes mais novas, razão pela qual os sintomas de deficiência de N se manifestam primeiramente nas folhas mais velhas.
Fósforo (P)	O fósforo é essencial para o crescimento da planta e está envolvido na maioria dos processos metabólicos. É constituinte dos ácidos nucleicos, fosfolípidios, proteínas, éster fosfato, dinucleotídeos e adenosina trifosfato (ATP). Portanto, o P é requerido para o armazenamento e transferência de energia, fotossíntese, processo de transporte de elétrons, regulação de atividade enzimática na síntese de açúcar e no transporte de carboidrato.	O P é móvel no floema e o sintoma se manifesta, inicialmente, por meio da cor arroxeada nas folhas mais velhas e depois se redistribui nas folhas mais novas.
Potássio (K)	O potássio é responsável pela manutenção da turgescência celular, controle da abertura e fechamento dos estômatos e osmorregulação celular. É requerido para a síntese de proteínas, para o metabolismo dos carboidratos e lipídios, sendo ativador de um grande número de enzimas.	Em plantas deficientes em K, a síntese proteica, fotossíntese e expansão celular são impedidas, culminando com a morte das células. O potássio se move livremente no floema e é exportado das folhas mais velhas para as mais novas, razão pela qual o sintoma de deficiência se manifesta primeiramente nas folhas mais velhas. Normalmente o sintoma de deficiência inicia sua manifestação nas bordas das folhas mais velhas. Assim, o sintoma de deficiência de K é caracterizado pela necrose ou pelo escurecimento das folhas mais velhas, entretanto, com o aumento da severidade, os sintomas evoluem das folhas mais velhas para as folhas mais novas. Deficiências severas afetam os pontos de crescimento da planta.
Cálcio (Ca)	O cálcio (Ca) é um dos constituintes da parede celular e está associado à pectina e a lamela média. Nos vacúolos o Ca está presente como oxalato de cálcio e também é requerido para a integridade e o funcionamento da membrana. É essencial para a divisão e o crescimento celular atuando nos pontos de crescimento de raízes e caules que são particularmente vulneráveis à deficiência deste elemento.	O Ca não é exportado das folhas mais velhas para as mais novas, por essa razão sua deficiência promove a morte da célula e o sintoma de deficiência manifesta-se, primeiramente, nas folhas mais novas. Como se manifestam, inicialmente, nas folhas novas em expansão, as margens dessas folhas novas são danificadas pela sua deficiência, prejudicando a expansão foliar, levando ao curvamento das margens das folhas com sintomas.
Magnésio (Mg)	A maior contribuição do magnésio na planta é como constituinte da molécula da clorofila. Atua na síntese de proteína e na ativação de muitas enzimas, além do importante papel na regulação do pH celular e no balanço cátion-ânion.	O sintoma de deficiência manifesta-se inicialmente nas folhas maduras (folhas mais velhas), completamente expandidas, e quando a deficiência é severa, manifestam-se também nas folhas mais novas, uma vez que o magnésio é exportado pelo floema das folhas mais velhas para as mais novas. O primeiro sinal característico de sua deficiência é o aparecimento de manchas amareladas entre as nervuras da folha.
Enxofre (S)	É essencial para a formação de proteínas contendo os aminoácidos cisteína e metionina. É também requerido para a síntese de tiamina, co-enzima A e sulfolípídios.	Os sintomas de deficiência manifestam-se inicialmente nas folhas novas em expansão com o aparecimento da tonalidade verde-clara. Com o tempo, as folhas tornam-se uniformemente amareladas e os sintomas passam a se manifestar nas folhas completamente expandidas. Normalmente o crescimento é prejudicado antes da manifestação visual do sintoma. Diferentemente do Magnésio, o enxofre tem baixa mobilidade no floema.

Tabela 1 - Função e sintomatologia de desordens nutricionais dos macronutrientes.

Fonte: COSTA, 2012.

MICRONUTRIENTES		
Nutrientes	Função	Sintomas
Ferro (Fe)	O ferro é essencial para a síntese da clorofila. E por apresentar dois estádios reversíveis de oxidação (Fe ²⁺ e Fe ³⁺), está envolvido em muitas reações de oxidação-redução da fotossíntese e da respiração. O Fe é componente indispensável de hemoproteínas como citocromo e peroxidase. É componente de muitas proteínas Fe-S, por exemplo, a ferredoxina.	O sintoma de deficiência de ferro manifesta-se inicialmente nas folhas mais novas, com o aparecimento de manchas de cor verde-clara. O sintoma avança, e as folhas mais novas apresentam a coloração amarelada. A coloração normal do tecido vegetal fica restrita às nervuras principais. Quando o sintoma de deficiência é muito intenso, há clorose também nas folhas maduras.
Zinco (Zn)	O zinco é constituinte de várias enzimas e é requerido para a fotossíntese. A deficiência de Zn compromete a síntese de auxina, substância de crescimento que comanda a expansão celular.	O zinco não apresenta redistribuição das folhas maduras para as folhas novas, razão pela qual o sintoma de deficiência aparece primeiramente nas folhas mais novas. O primeiro sinal de deficiência de Zn é o aparecimento de clorose entre as nervuras das folhas em expansão, que evolui para manchas púrpuras. Com a evolução da severidade da deficiência, há uma redução do tamanho das folhas mais novas, podendo manifestar também a necrose nas bordas e no limbo entre as nervuras principais, juntamente com o encurtamento dos internódios, devido a redução da síntese de auxina e comprometimento da expansão foliar.
Manganês (Mn)	O manganês é requerido para a evolução do oxigênio no processo fotossintético. É também envolvido na reação de redução e transporte de elétron nos cloroplastos. O Mn é essencial para a metal-proteína superóxido dismutase.	Em plantas deficientes, ocorre o aparecimento de necrose em folhas recentemente expandidas e em expansão, e a lignificação é prejudicada, assim os sintomas de deficiência se manifestam inicialmente nas folhas mais novas, com o aparecimento de manchas verde-claras entre as nervuras laterais, uma vez que o movimento do Mn no floema é limitado e não ocorre o seu retranslocamento das folhas maduras para as mais novas. As folhas são normais em tamanho e, com o tempo, os tecidos cloróticos se tornam amarelados.
Boro (B)	É constituinte da parede celular, sendo requerido para a divisão celular e o crescimento.	A deficiência severa de boro manifesta-se nas folhas mais novas e nos pontos de crescimento da parte aérea e da raiz, portanto o crescimento da parte aérea e das raízes é bastante limitado pela sua deficiência, uma vez que não é retranslocado no floema, de forma semelhante ao Ca.
Cobre (Cu)	A maior parte do cobre na planta encontra-se como constituinte da plastocianina na folha. É essencial para a fotossíntese, considerando que a plastocianina é o maior componente da cadeia de transporte de elétrons. O cobre é constituinte de metalenzimas, como a citocromo oxidase e a fenolase.	A deficiência de cobre se manifesta inicialmente nos pontos de crescimento e nas folhas mais novas. Diferentemente do N, a deficiência de Cu não se manifesta em folhas maduras, ocorrendo o encurvamento das margens das folhas em expansão, podendo também desenvolver a coloração amarelada nas margens da folha.

Tabela 2 - Função e sintomatologia de desordens nutricionais dos micronutrientes.

Fonte: COSTA, 2012.

5 | NUTRIÇÃO MINERAL DAS ESPÉCIES AGRONÔMICAS E FLORESTAIS

A análise foliar e o monitoramento dos teores de nutrientes nas espécies agronômicas e florestais cultivadas no Cinturão Verde para fins de quebra-ventos nos pátios industriais na ArcelorMittal Tubarão foram comparados com os resultados para as mesmas espécies no ambiente natural da Mata Atlântica considerado referência, com o diferencial metodológico quanto à análise foliar utilizando folhas lavadas e não lavadas, para diagnosticar o potencial de retenção de particulados na superfície das folhas.

É relevante ressaltar que os resultados obtidos correspondem à coleta de folhas após 30 meses do plantio, conforme detalhado no Capítulo 5. As coletas realizadas no 6º e 18º mês após o plantio também foram importantes e fundamentais para o auxílio do monitoramento e da recomendação de possíveis correções dos elementos por meio da

adubação de manutenção.

As comparações dos teores foliares nas espécies agrônômicas e florestais, nos três ambientes, foram realizadas com base nos teores de macro e micronutrientes, nas Tabelas 3 e 4, considerados adequados (RAIJ et al., 1996; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), conforme apresentado no Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007), tanto para as culturas de interesse agrônômicas, quanto para espécies de interesse florestal.

Sendo assim, para as espécies *Corymbia citriodora* e *Corymbia torelliana* usou-se como parâmetro os teores do eucalipto, e para as demais, os teores das essências florestais.

Cultura	MACRONUTRIENTES (dag.kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Eucalipto	1.4 - 1.6	0.10 - 0.12	1.0 - 1.2	0.8 - 1.2	0.4 - 0.5	0.15 - 0.20
Essências florestais	1.2 - 3.5	0.10 - 0.25	1.0 - 1.7	0.3 - 1.2	0.15 - 0.5	0.14 - 0.26

Tabela 3 - Teores foliares de macronutrientes considerados adequados.

Cultura	MICRONUTRIENTES (mg.kg ⁻¹)				
	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Eucalipto	150 - 200	40 - 60	08 - 10	100 - 600	40 - 50
Essências florestais	50 - 200	20 - 60	05 - 15	40 - 600	20 - 70

Tabela 4 - Teores foliares de micronutrientes considerados adequados.

5.1 Nutrição Mineral de Espécies Agrônômicas e Florestais no Ambiente Mata Atlântica

Nas Tabela 5 e 6 são apresentados os resultados dos teores foliares de macro e micronutrientes, respectivamente, para as espécies avaliadas na Fazenda Experimental Engenheiro Reginaldo Conde, em condições naturais de Mata Atlântica.

Espécie	Condição da folha	N	P	(dag.kg ⁻¹)			
				K+	Ca ²⁺	S	Mg ²⁺
<i>Acacia auriculiformis</i>	Lavada	3,81	0,82	1,75	2,61	0,38	1,08
	Não lavada	4,38	0,86	1,88	2,76	0,63	1,14
<i>Acacia mangium</i>	Lavada	2,41	0,15	0,63	1,36	0,32	0,27
	Não lavada	3,66	0,22	1,25	2,43	0,39	0,33
<i>Bauhinia forficata</i>	Lavada	2,28	0,26	0,63	1,17	0,2	0,41
	Não lavada	2,79	0,41	0,94	2,98	0,25	0,49
<i>Corymbia citriodora</i>	Lavada	1,79	0,21	0,81	0,87	0,13	0,23
	Não lavada	2,03	0,22	0,94	1,12	0,13	0,24
<i>Corymbia torelliana</i>	Lavada	1,72	0,15	1,32	0,83	0,15	0,29
	Não lavada	2,56	0,2	1,69	1,92	0,16	0,56
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lavada	1,56	0,19	1,31	1,99	0,29	0,39
	Não lavada	3,26	0,24	1,44	2,56	0,34	0,53
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	2,33	0,16	1,25	1,95	0,3	0,56
	Não lavada	3,09	0,27	1,56	3,31	0,45	0,69
<i>Senna macranthera*</i>	Lavada	-	-	-	-	-	-
	Não lavada	-	-	-	-	-	-

*A espécie não apresentou número de folhas suficientes para a realização da análise química foliar.

Tabela 5 - Resultado de análises químicas dos macronutrientes foliares para oito espécies florestais conduzidas em ambiente Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

De forma geral, os teores foliares nas espécies agrônômicas e florestais estudadas no ambiente de referência Mata Atlântica apresentaram comportamentos semelhantes, com valores levemente superiores para os teores dos nutrientes nas folhas não lavadas em relação aos teores nas folhas lavadas (Tabelas 5 e 6). Isto é um indicativo da presença de particulados oriundos de outras fontes que não exclusivamente do ambiente industrial. O valor apresentado na amostra de folhas lavadas é o que, de fato, se encontra na constituição, indicando que a planta não necessariamente absorve o que está na superfície da folha.

As espécies apresentaram teores satisfatórios quanto ao Nitrogênio (N). É importante destacar que as espécies que apresentaram teores levemente superiores (*Acacia auriculiformis*, *Corymbia Citriodora* e *Corymbia Torelliana*) tiveram seus resultados obtidos para as folhas não lavadas. Nas folhas lavadas, os teores estão muito próximos aos considerados adequados às plantas, não configurando toxidez.

Espécie	Condição da folha	Fe	Mn	Zn	B	Cu
		mg.kg ⁻¹				
<i>Acacia auriculiformis</i>	Lavada	257	97	32	39	10
	Não lavada	310	225	47	55	13
<i>Acacia mangium</i>	Lavada	220	397	15	33	11
	Não lavada	345	528	17	37	14
<i>Bauhinia forficata</i>	Lavada	135	124	15	19	6
	Não lavada	299	131	23	39	6
<i>Corymbia citriodora</i>	Lavada	144	248	20	34	6
	Não lavada	162	457	24	34	7
<i>Corymbia torelliana</i>	Lavada	143	495	36	27	8
	Não lavada	279	560	38	28	11
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lavada	188	57	9	27	6
	Não lavada	278	101	15	28	9
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	301	95	19	39	7
	Não lavada	310	151	20	49	10
<i>Senna macranthera*</i>	Lavada	-	-	-	-	-
	Não lavada	-	-	-	-	-

*A espécie não apresentou número de folhas suficientes para a realização da análise química foliar.

Tabela 6 - Resultado de análises químicas dos micronutrientes foliares para oito espécies florestais conduzidas em ambiente Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

Os teores de Enxofre (S) e Potássio (K) ficaram dentro dos valores aceitáveis para as espécies, sendo que para as espécies com teores superiores aos considerados adequados não foram verificados sintomas visuais de toxidez, e aquelas que apresentaram teores inferiores aos recomendados também não apresentaram sintomas de deficiência.

Quanto ao Potássio (K), os teores adequados, além de suas funções já destacadas, possuem importante função no controle de pragas e doenças. Em plantas com deficiência de K se observa um elevado teor de glutamina, que retarda a cicatrização de feridas e facilita a penetração de pragas e doenças (PREZOTTI et al., 2007).

A maioria das espécies apresentaram teores elevados de Cálcio (Ca), conforme o Gráfico 1.

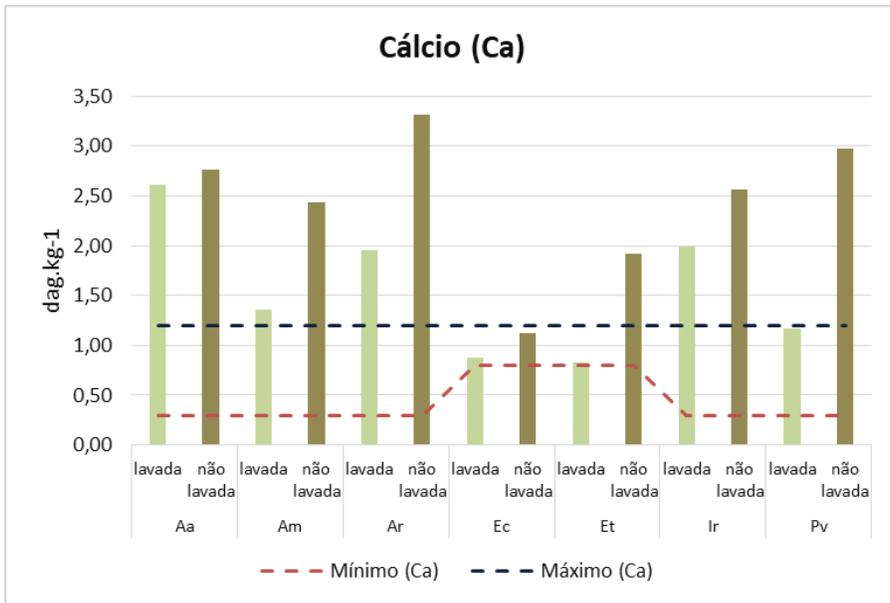


Gráfico 1 - Teores de cálcio para as espécies em ambiente Mata Atlântica

Fonte: O Autor.

É possível observar que apenas a *Corymbia citriodora* (Ec) apresentou valores dentro da faixa considerada adequada para folhas lavadas e não lavadas. Apesar de elevadas, as quantidades de Ca não se configuraram tóxicas para as plantas de acordo com a diagnose visual. A ausência de toxidez pelo Cálcio é reforçada pela comparação deste nutriente com os níveis de Potássio (K), anteriormente apresentados. Segundo Camargo e Silva (1975), o excesso de Ca no solo provoca a diminuição da concentração de Potássio nas folhas, porém essa hipótese foi descartada, devido aos níveis satisfatórios de K encontrados nas amostras avaliadas.

Pelo Gráfico 2, é possível visualizar os teores para o Magnésio (Mg) nas espécies estudadas. Embora não tenha sido observada deficiência nutricional, os teores deste macronutriente para a espécie *Corymbia torelliana* (Et) encontraram-se abaixo dos valores satisfatórios nas folhas lavadas. Para a *Corymbia citriodora* (Cc) os valores foram inferiores tanto para as folhas lavadas quanto para não lavadas. Vale destacar que essas espécies apresentam uma exigência quanto ao teor mínimo recomendado, moderadamente superior, se comparados aos demais. O teor de Mg considerado adequado para as espécies é fundamental para o equilíbrio nutricional, uma vez que sua deficiência pode promover o desequilíbrio, estabelecendo condições de estresse que favorecem a propagação de fungos. Segundo Prezotti et al. (2007), a deficiência de Mg induz ao acúmulo de açúcares, que funcionam como substrato para os fungos.

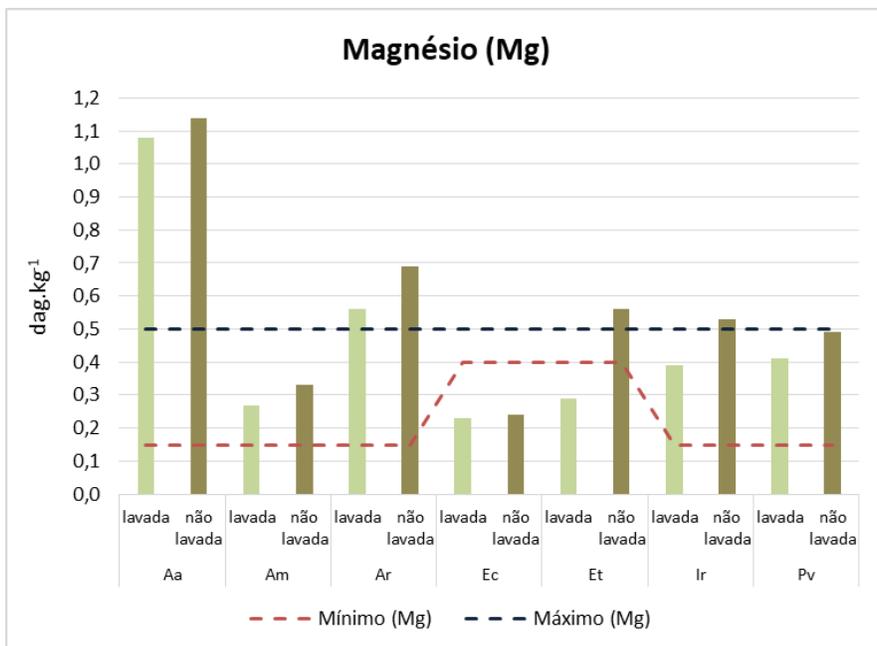


Gráfico 2 - Teores de magnésio para as espécies em ambiente Mata Atlântica

Fonte: O Autor.

Nesse contexto, é possível perceber que na espécie *Acacia auriculiformis* (Aa), o teor de Magnésio foi considerado em excesso, apesar de não tóxico. A disponibilidade de Mg no solo pode interferir, por exemplo, na absorção do Fósforo (P). Em trabalho com raízes na cultura de cevada, citado por Malavolta (1976), em determinada concentração, a elevação da concentração de Mg, até o mesmo valor do teor do Fósforo, provocava um aumento na absorção do P. Observando os níveis de Fósforo no Gráfico 3, é possível perceber esse comportamento para a espécie *Acacia auriculiformis*.

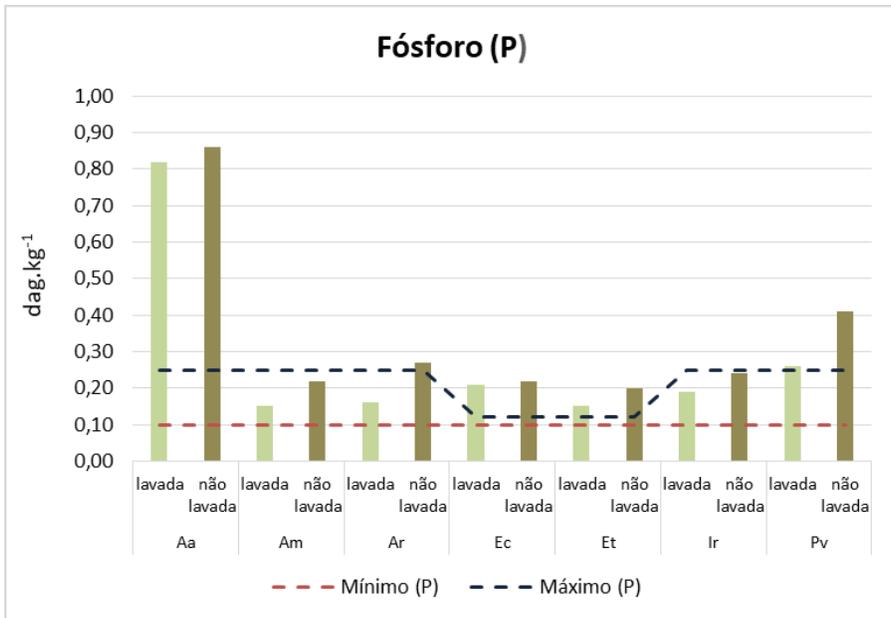


Gráfico 3 - Teores de fósforo para as espécies em ambiente Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), o teor elevado de fósforo na planta pode culminar em deficiência do micronutriente Manganês (Mn). É oportuno observar que, apesar de não haver deficiência de Mn na espécie, os teores encontraram-se próximos à faixa da quantidade mínima considerada adequada para as folhas lavadas, conforme Gráfico 4.

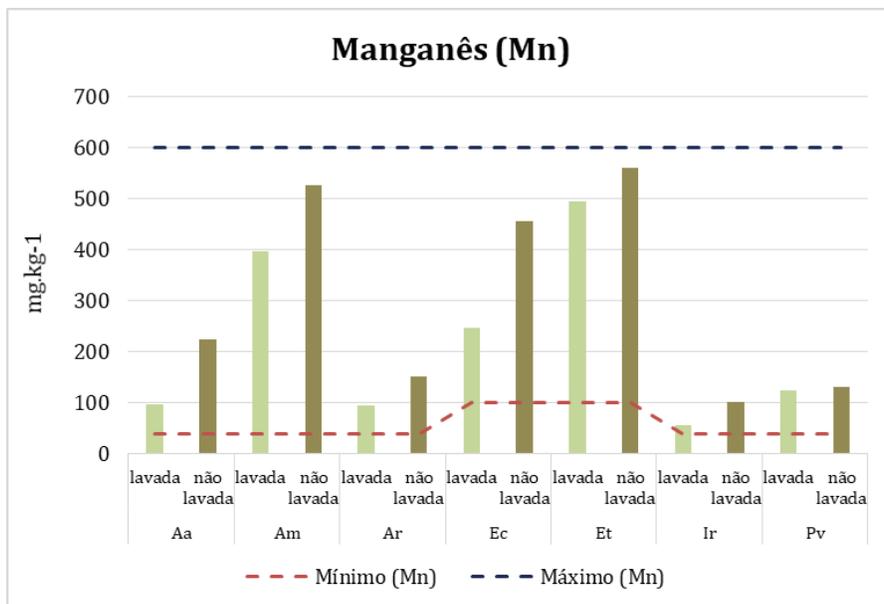


Gráfico 4 - Teores de manganês para as espécies em ambiente Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

Pelo Gráfico 4, também é possível observar que, mesmo em folhas não lavadas, as quantidades de Mn ficaram dentro da faixa considerada adequada, resultado semelhante para os teores observados nas folhas lavadas.

Os teores dos micronutrientes Boro (B) e Cobre (Cu) também apresentaram valores satisfatórios para as espécies, estando a grande maioria dentro da faixa dos valores estabelecidos por Prezotti et al. (2007) como adequados. Aqueles que porventura apresentaram valores fora da faixa os apresentaram bem próximos dos valores adequados. Possíveis toxidez ou deficiência para esses elementos também foram descartados na diagnose visual.

Para folhas não lavadas, no Gráfico 5, observa-se que as espécies avaliadas, com exceção da *Corymbia citriodora* (Ec), apresentaram teores de ferro superiores à faixa adequada. Para as folhas lavadas, algumas espécies ainda apresentaram teores elevados. Essas informações são relevantes, pois é possível observar que, mesmo em ambiente natural de Mata Atlântica, ocorre a presença de particulados rico em ferro. Dessa forma, não pode ser considerado um comportamento exclusivo de ambientes industriais.

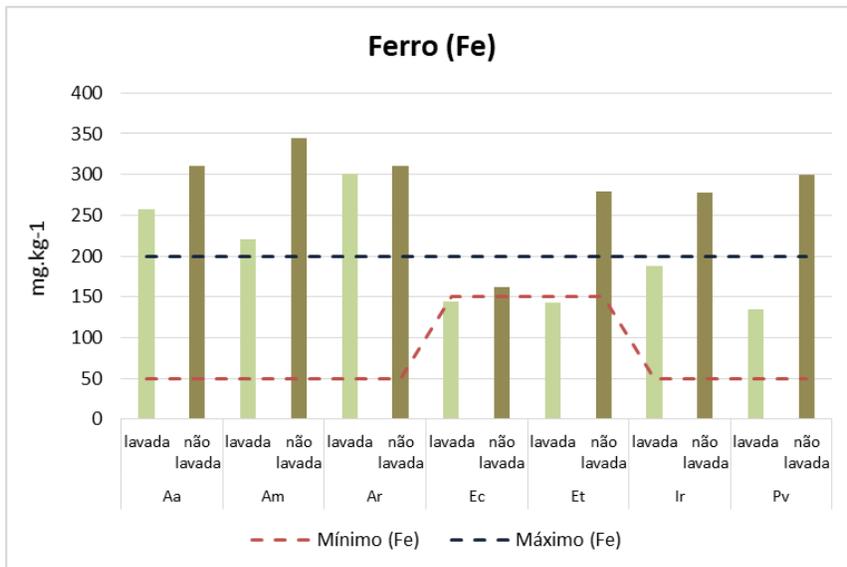


Gráfico 5 - Teores de ferro para as espécies em ambiente Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

Para o micronutriente Zinco (Zn), a maioria das espécies apresentaram teores inferiores ao recomendado, estando abaixo da quantidade mínima considerada adequada, conforme mostrado no Gráfico 6. Segundo Malavolta (1976), o excesso de Fe diminui a absorção do Zn. Além disso, a disponibilidade do nutriente também pode ser influenciada pelo pH do solo. Quando o pH sobe uma unidade, ou seja, diminui a acidez do solo, o teor de zinco na solução do solo cai 100 vezes devido à formação de compostos de menor solubilidade.

A análise do ambiente natural da Mata Atlântica possibilitou identificar que mesmo em ambientes sem intervenções antrópicas e industriais há maior disponibilidade e absorção de alguns elementos, como por exemplo o Ferro e o Cálcio, e menor disponibilidade e absorção de outros, como o Zinco.

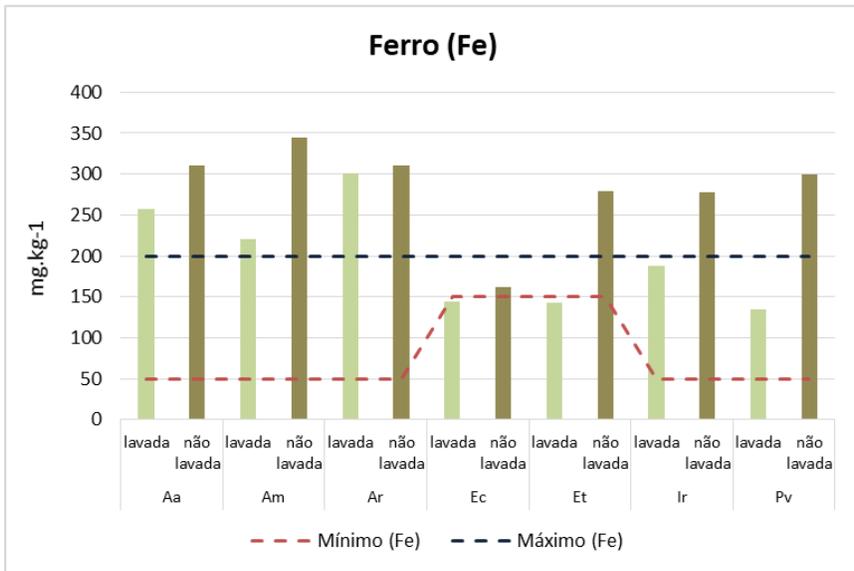


Gráfico 6 - Teores de zinco para as espécies em ambiente Mata Atlântica.

Fonte: O Autor.

5.2 Nutrição Mineral de Espécies Agrônômicas e Florestais no Ambiente Pátio de Carvão

Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os resultados dos teores foliares de macro e micronutrientes, respectivamente, para as espécies conduzidas no ambiente industrial no Pátio de Carvão.

Espécie	Condição da folha	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	S	Mg ²⁺
		dag.kg-1					
<i>Acacia auriculiformis</i>	Lavada	2,04	0,26	2,24	1,93	0,28	0,58
	Não Lavada	2,38	0,29	2,50	1,95	0,38	0,60
<i>Acacia mangium</i>	Lavada	2,94	0,12	1,17	1,26	0,22	0,24
	Não Lavada	3,44	0,14	1,31	1,27	0,29	0,25
<i>Bauhinia forficata</i>	Lavada	3,02	0,24	1,17	1,38	0,17	0,35
	Não Lavada	3,54	0,26	1,31	1,39	0,22	0,36
<i>Corymbia citriodora</i>	Lavada	1,55	0,11	0,78	0,81	0,09	0,22
	Não Lavada	1,81	0,12	0,88	0,80	0,12	0,23
<i>Corymbia torelliana</i>	Lavada	2,10	0,15	1,34	1,17	0,16	0,24
	Não Lavada	2,45	0,17	1,50	1,18	0,21	0,24
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lavada	2,72	0,17	1,12	3,48	0,23	0,58
	Não Lavada	3,18	0,19	1,25	3,51	0,30	0,60
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	2,75	0,21	1,68	2,78	0,28	0,56
	Não Lavada	3,22	0,23	1,88	2,80	0,36	0,58
<i>Senna macranthera</i>	Lavada	2,72	0,34	1,85	3,68	0,37	0,27
	Não Lavada	3,19	0,38	2,06	3,70	0,49	0,28

Tabela 7 - Resultado de análises químicas foliares de macronutrientes para as 8 espécies florestais conduzidas no Cinturão Verde no Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

Espécie	Condição da folha	Fe	Mn	Zn	B	Cu
		mg.kg ⁻¹				
<i>Acacia auriculiformis</i>	Lavada	557	61	10	29	6
	Não Lavada	1308	125	16	39	10
<i>Acacia mangium</i>	Lavada	395	35	22	48	4
	Não Lavada	929	71	34	65	6
<i>Bauhinia forficata</i>	Lavada	578	39	18	31	5
	Não Lavada	1359	81	28	42	8
<i>Corymbia citriodora</i>	Lavada	172	66	25	27	2
	Não Lavada	404	135	39	36	3
<i>Corymbia torelliana</i>	Lavada	129	150	22	25	5
	Não Lavada	304	309	35	33	8
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lavada	299	44	17	33	4
	Não Lavada	702	91	27	44	7
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	498	59	14	36	5
	Não Lavada	1171	122	22	48	9
<i>Senna macranthera</i>	Lavada	526	61	20	27	8
	Não Lavada	1237	125	32	36	14

Tabela 8 - Resultado de análises químicas foliares de micronutrientes para as 8 espécies florestais conduzidas no Cinturão Verde no Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

Os teores de macro e micronutrientes para as espécies avaliadas no ambiente do Pátio de Carvão foram semelhantes aos observados no ambiente Mata Atlântica tanto para os valores obtidos nas folhas lavadas quanto nas folhas não lavadas. Apenas para o micronutriente Ferro (Fe), os valores observados foram consideravelmente superiores nas folhas não lavadas, quando comparadas com as folhas lavadas (Tabela 8). Para este ambiente, a espécie *Senna macranthera* apresentou bom desenvolvimento; já no ambiente de Mata Atlântica, essa espécie não apresentou folhas suficientes para a análise. Isto demonstra que as mesmas espécies apresentaram comportamentos distintos em função do ambiente de cultivo.

Mesmo inseridas em um ambiente industrial, o comportamento das espécies para os macronutrientes Nitrogênio (N) e Potássio (K) foram semelhantes aos observados em ambiente de Mata Atlântica.

Para o Magnésio (Mg), a espécie *Acacia Auriculiformes* (Aa), diferentemente do ambiente Mata Atlântica, não apresentou o mesmo comportamento de alto teor do nutriente. Apesar de superior ao teor máximo considerado adequado, a quantidade está próxima à faixa de valor máximo no ambiente industrial. As espécies *Corymbia citriodora* (Ec) e *Corymbia torelliana* (Et) manifestaram o mesmo comportamento ocorrido em ambiente natural, com teores inferiores aos considerados adequados para esse nutriente.

Comparando-se os teores de Fósforo (P) em condições naturais de Mata Atlântica com o Pátio de Estocagem de Carvão, é importante destacar que os níveis de nutriente

na espécie *Acacia auriculiformis* foram consideravelmente mais próximos aos valores considerados adequados neste ambiente. A espécie *Senna macranthera* (Fe) apresentou valores moderadamente superiores ao nível máximo adequado, não configurando toxidez. As demais espécies apresentaram teores semelhantes aos verificados no ambiente natural.

Apesar de inseridas em uma área industrial, as plantas apresentaram quantidades satisfatórias do Enxofre (S), conforme demonstrado no Gráfico 7.

É interessante destacar que a espécie *Senna macranthera* apresentou os maiores valores acima da faixa adequada e a *Corymbia citriodora* apresentou os menores teores inferiores à faixa mínima adequada. Inclusive esta espécie apresentou teores muito próximo dos teores encontrados na Mata Atlântica.

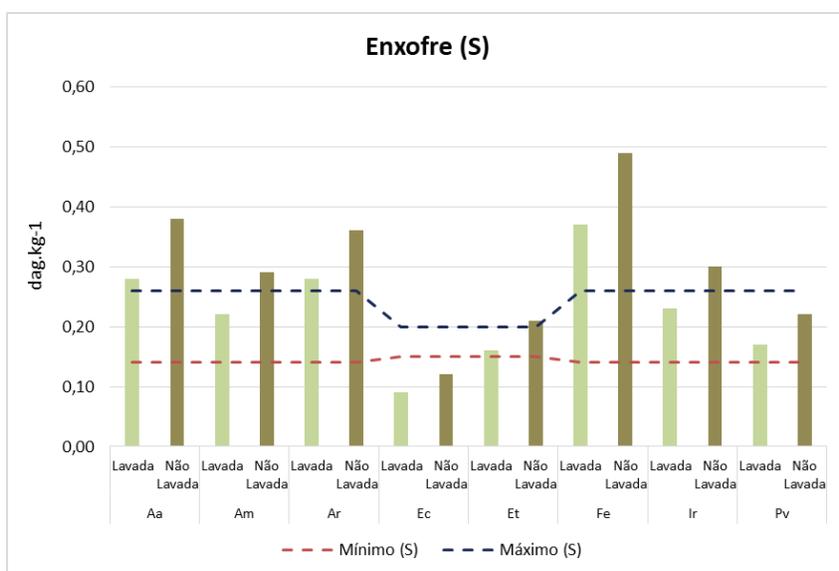


Gráfico 7 - Teores de enxofre para as espécies no ambiente Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

Quanto ao Cálcio (Ca), foi observado que quatro espécies se destacaram por conter teores superiores aos adequados (*Acacia auriculiformis*, *Schinus terebinthifolius* (Ar), *Senna macranthera* e *Handroanthus heptaphyllus* (Ir), conforme Gráfico 8.

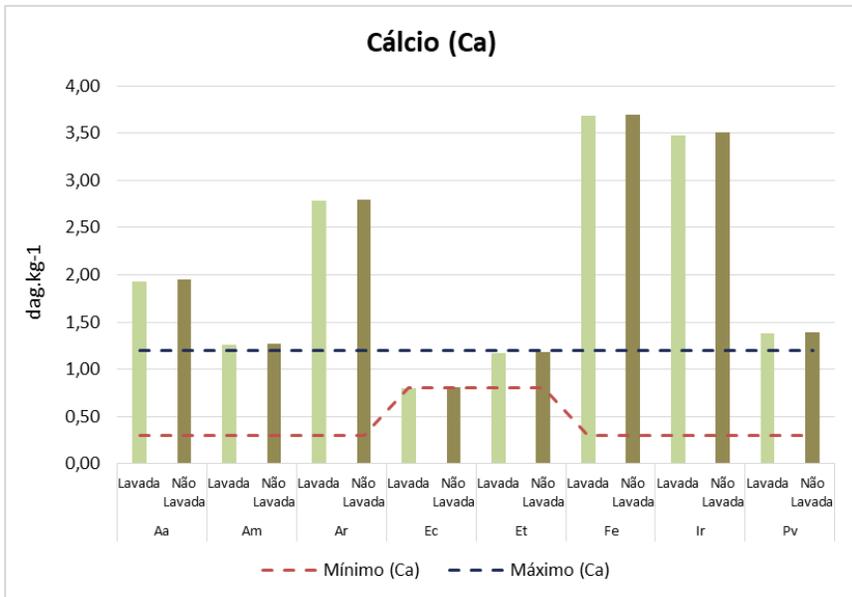


Gráfico 8 - Teores de Cálcio para as espécies no ambiente Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

De forma semelhante ao ambiente natural de Mata Atlântica, não foi observado desequilíbrio nutricional, quer seja por toxidez quer seja deficiência nas espécies monitoradas por meio da diagnose visual. Esses resultados corroboram a importância dos níveis de Ca que influencia nos níveis de K nas plantas, ressaltando que o excesso de Ca no solo provoca a diminuição da concentração de Potássio nas folhas, conforme afirmação de Camargo e Silva (1975). O comportamento dos valores de Ca, apesar dos teores elevados, mostrou-se mais próximos às faixas adequadas do que os encontrados nas espécies cultivadas em ambiente de Mata Atlântica.

Os teores foliares do Ferro (Fe) em folhas não lavadas foram consideravelmente superiores para as 8 espécies em relação às folhas lavadas (Gráfico 9), resultados estes já esperados, devido à presença de particulados, em função da movimentação do minério de ferro utilizado como matéria-prima na área industrial da ArcelorMittal Tubarão.

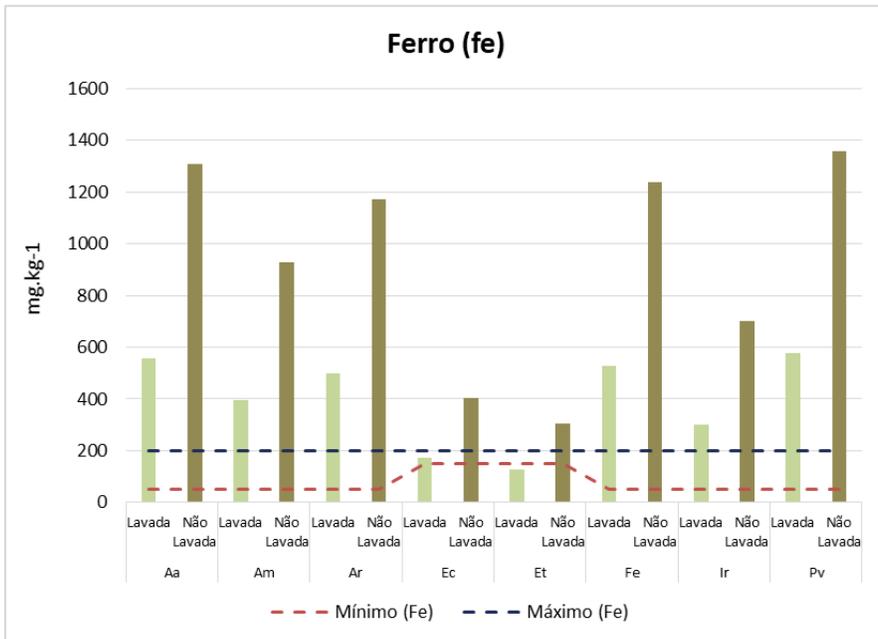


Gráfico 9 - Teores de ferro para as espécies no ambiente Pátio de Carvão

Fonte: O Autor.

Os teores de Fe para as folhas lavadas apresentaram variações entre as 8 espécies analisadas nas diferentes condições, sendo que 6 delas estão acima dos considerados adequados.

O teor de ferro nas duas espécies do gênero *Corymbia* (Ec e Et) se encontrou próximo do observado nas espécies conduzidas em ambiente natural de mata atlântica. A espécie *Corymbia torelliana* apresentou teor foliar levemente abaixo do adequado para esse nutriente.

Apesar do alto teor de Fe no Pátio de Carvão, não foram observados sintomas de fitotoxicidade durante os três anos de condução do experimento, indicando que a presença do ferro na superfície das folhas não influenciou na sua disponibilidade e absorção foliar.

Uma das possíveis consequências do elevado teor foliar de ferro é a diminuição da absorção do Zinco (Zn), o que se confirma, pois este micronutriente apresentou teores inferiores aos adequados para 7 das 8 espécies, conforme apresentado no Gráfico 10. Entretanto, os teores foliares para o Zn, embora baixos, foram próximos aos encontrados nas condições naturais.

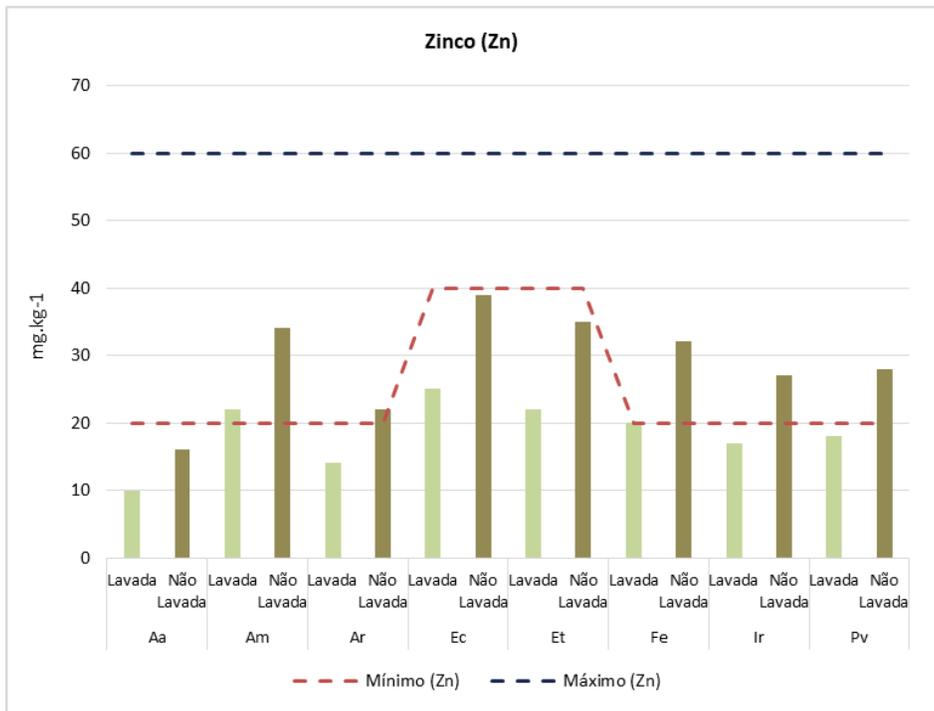


Gráfico 10 - Teores de zinco para as espécies no ambiente Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

A disponibilidade do Zn, como já relatado anteriormente, é influenciada pelas alterações do pH do solo, ou seja, quando diminui a acidez em uma unidade, o teor de Zinco diminui em 100 vezes. Por isso é relevante o acompanhamento e monitoramento por meio de diagnose foliar dos teores e possíveis correções antes de manifestação dos sintomas de desequilíbrio.

A acidez do solo pode interferir também na disponibilidade de outros micronutrientes, a exemplo do Manganês (Mn) e do Cobre (Cu). Estes micronutrientes apresentaram comportamentos semelhantes entre si no ambiente de Pátio de Carvão e diferentes dos teores encontrados na Mata Atlântica.

Para o Cobre, 50% das espécies estudadas apresentaram teores satisfatórios, porém, para folhas lavadas, estiveram próximos da quantidade mínima recomendada para espécies agrônômicas e florestais. Em folhas não lavadas, apenas a *Corymbia citriodora* (Ec) apresentou teores inferiores aos adequados. Esta espécie também apresentou o menor teor de Cobre em folhas não lavadas.

Os valores observados para o Mn foram adequados para 5 das 8 espécies nas folhas lavadas, entretanto próximos do valor mínimo recomendado, conforme mostrado no Gráfico 11, seguindo o mesmo comportamento do Cobre.

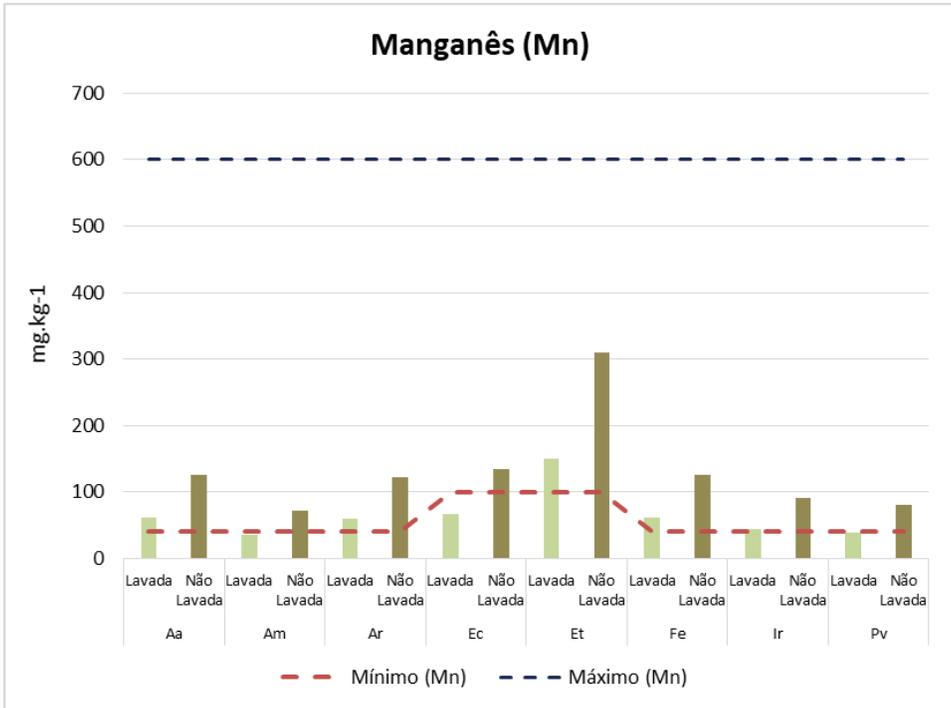


Gráfico 11 - Teores de manganês para as espécies no ambiente Pátio de Carvão.

Fonte: O Autor.

Os resultados obtidos para o Cu e Mn foram influenciados pela acidez do solo, destacando o fato de que, por ocasião da coleta das amostras foliares para análise, o pH do solo à profundidade de 0 a 20 cm foi de 7,5, e na profundidade 20 a 40 cm foi de 7,9. Segundo Malavolta (1986), o aumento no pH conduz a uma queda na disponibilidade do Cu devido à formação de compostos hidróxidos e carbonatos, insolúveis em água. Para o Mn, a acidez (pH abaixo de 5,5) promove a formação de manganês bivalente que é disponível para a planta. Aumentando o pH, o Mn sofre transformações, convertendo-se na forma trivalente e depois na tetravalente, considerada insolúvel.

O pH do solo em ambiente natural de Mata Atlântica, ao retirar as amostras foliares, foi de 5,1 à profundidade de 0 a 20 cm, resultado semelhante na profundidade de 0 a 40 cm. Ainda que as plantas não tenham apresentado deficiência de Cu e Mn no Pátio de Carvão, o acompanhamento se mostrou eficiente para evitar prováveis desequilíbrios.

Os resultados obtidos para o Boro (B) foram abaixo do limite mínimo para as duas espécies *Corymbia citriodora* e *torelliana*, tanto para folhas não lavadas como para folhas lavadas sem, contudo, ter manifestado sintomas visuais de deficiência. A manutenção do teor desse macronutriente abaixo da linha máxima considerada adequada é um diferencial, pois, segundo Ferreira et al. (1991), a faixa recomendada é muito sensível, ou seja, tóxico

para muitas espécies a em níveis ligeiramente superiores àqueles requeridos para as condições normais de desenvolvimento.

5.3 Nutrição Mineral de Espécies Agrônomicas e Florestais no Ambiente Pátio de Minério

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentados os resultados das análises foliares para macro e micronutrientes, respectivamente, realizadas na área experimental em ambiente industrial no pátio de estocagem de minério. No Pátio de Minério, assim como em ambiente de Mata Atlântica, a espécie *Senna macrathera* não apresentou folhas suficientes para análises foliares em função da sua não adaptação para estes ambientes. Além da espécie *Senna macrathera*, a espécie *Bauhinia forficata* também não apresentou folhas suficientes para o estudo.

De maneira geral, os teores dos macronutrientes Nitrogênio (N), Potássio (K) e Cálcio (Ca) para as espécies avaliadas no ambiente Pátio de Minério foram adequados para o pleno desenvolvimento das plantas e apresentaram comportamentos semelhantes aos observados nos ambientes Mata Atlântica e Pátio de Carvão. Os teores de Ca foram inferiores aos verificados nos demais ambientes de estudo, com valores mais próximos à faixa de valores máximos recomendados na Tabela 3. Nenhuma espécie apresentou valor inferior ao teor mínimo recomendado para o Ca e N, e aquelas que apresentaram baixo teor de K ficaram próximos ao teor adequado, não manifestando sintomas visuais de deficiência nutricional.

Espécie	Condição da folha	N P K ⁺ Ca ²⁺ S Mg ²⁺					
		dag kg ⁻¹					
<i>Acacia auriculiformis</i>	Lavada	3,74	0,74	1,57	2,59	0,28	1,04
	Não Lavada	4,51	0,99	1,67	2,74	1,23	0,36
<i>Acacia mangium</i>	Lavada	2,19	0,17	1,51	1,91	0,12	0,54
	Não Lavada	3,12	0,34	1,67	2,79	0,22	0,76
<i>Bauhinia forficata*</i>	Lavada	-	-	-	-	-	-
	Não Lavada	-	-	-	-	-	-
<i>Corymbia citriodora</i>	Lavada	2,64	0,24	1,4	1,92	0,23	0,54
	Não Lavada	3,12	0,32	1,78	1,93	0,31	0,57
<i>Corymbia torelliana</i>	Lavada	1,74	0,19	0,73	0,86	0,09	0,23
	Não Lavada	2,26	0,27	0,93	1,01	0,14	0,26
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lavada	2,39	0,23	0,84	1,16	0,15	0,4
	Não Lavada	3,18	0,26	1,23	1,25	0,31	0,49
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	3,13	0,19	1,12	1,35	0,24	0,23
	Não Lavada	4,17	0,35	1,56	1,78	0,25	0,26
<i>Senna macranthera*</i>	Lavada	-	-	-	-	-	-
	Não Lavada	-	-	-	-	-	-

Tabela 9 - Resultado de análises químicas foliares de macronutrientes para as espécies florestais conduzidas em Cinturão Verde no Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

Espécie	Condição da folha	Fe	Mn	Zn	B	Cu
		mg kg ⁻¹				
<i>Acacia auriculiformis</i>	Lavada	109	109	20	41	8
	Não Lavada	888	134	32	59	10
<i>Acacia mangium</i>	Lavada	611	272	24	21	7
	Não Lavada	1420	356	30	39	10
<i>Bauhinia forficata*</i>	Lavada	-	-	-	-	-
	Não Lavada	-	-	-	-	-
<i>Corymbia citriodora</i>	Lavada	132	73	13	29	6
	Não Lavada	724	123	19	37.1	7
<i>Corymbia torelliana</i>	Lavada	61	222	13	25	4
	Não Lavada	832	331	23	33	6
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Lavada	57	64	9	29	4
	Não Lavada	578	128	19	39	7
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Lavada	94	257	9	25	7
	Não Lavada	498	391	21	37	13
<i>Senna macranthera*</i>	Lavada	-	-	-	-	-
	Não Lavada	-	-	-	-	-

Tabela 10 - Resultado de análises químicas foliares de micronutrientes para as espécies florestais conduzidas em Cinturão Verde no Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

A espécie *Acacia auriculiformes* (Aa) apresentou um comportamento diferente das demais no Pátio de Minério quanto ao Enxofre (S). O teor de S verificado nas folhas não lavadas superou os valores para as mesmas espécies nos dois outros ambientes. Entretanto, quando se utilizou o procedimento padrão de análise com a folha lavada, o teor foi classificado significativamente menor, demonstrando que, apesar da elevada quantidade na superfície da folha, não houve absorção expressiva pela planta, como pode ser constatado no Gráfico 12.

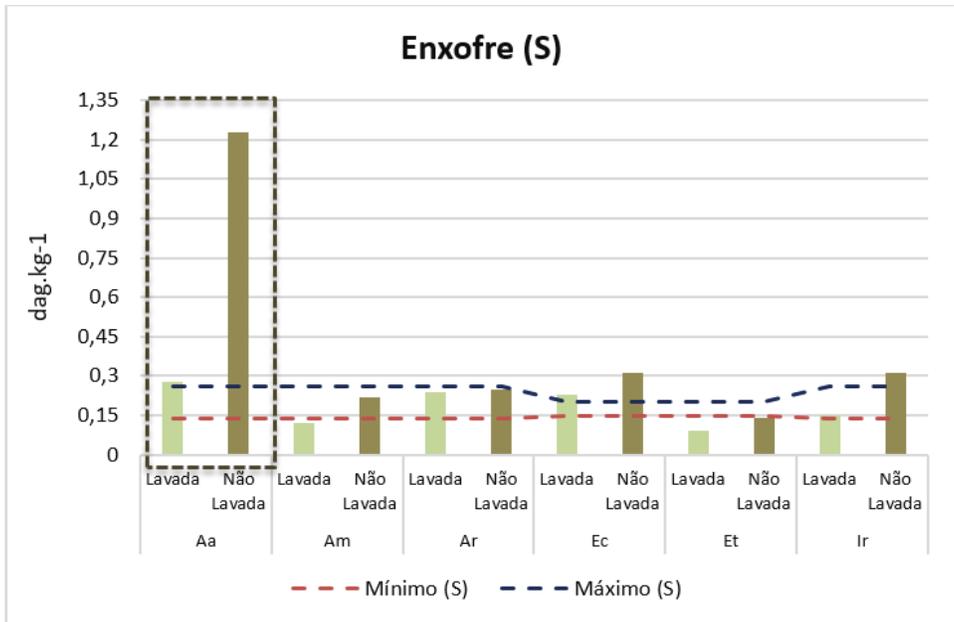


Gráfico 12 - Teores de Enxofre para as espécies no ambiente Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

Apenas as espécies *Acacia mangium* (Am) e *Corymbia torelliana* (Et) apresentaram quantidades inferiores ao mínimo adequado para as folhas lavadas. Ainda assim, não foram verificados sintomas visuais de deficiência.

A espécie *Acacia auriculiformes* (Aa) apresenta destaque neste ambiente de estudo quando comparado com o ambiente de Mata Atlântica para resultados de Magnésio (Mg). O teor de Mg para a folha lavada foi consideravelmente maior que o das demais espécies (Gráfico 13), destacando o comportamento diferenciado dessa espécie para a absorção do Mg no ambiente industrial Pátio de Minério.

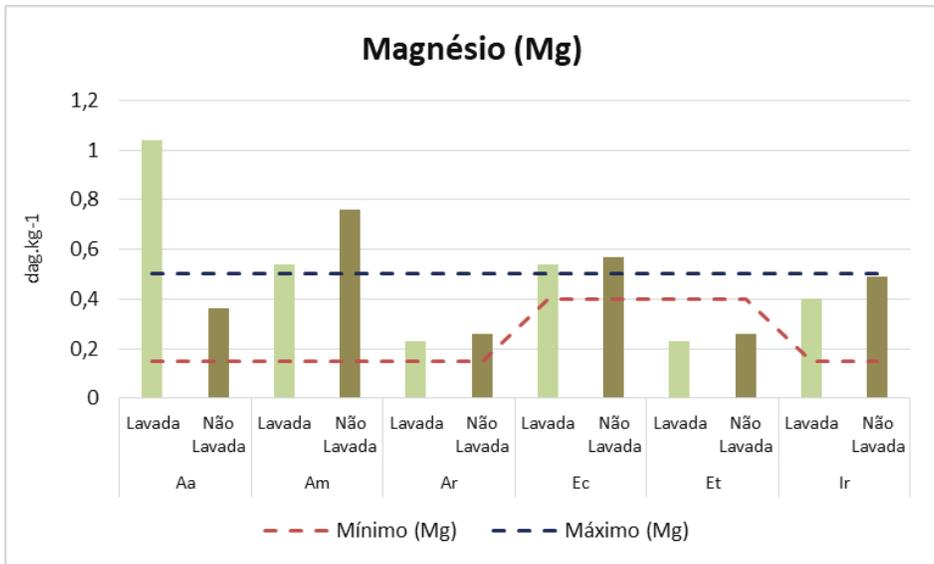


Gráfico 13 - Teores de magnésio para as espécies no ambiente Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

Verificou-se que a absorção do Fósforo (P) foi influenciada pela concentração de Mg, apresentando uma relação direta com a absorção do P. Foi mencionado anteriormente que elevados teores de P podem induzir deficiência de Manganês (Mn), conforme mostrado nos Gráficos 14 e 15, os quais ilustram o comportamento desta espécie que apresenta altos teores de Mg e P e baixos teores de Mn, mesmo dentro da faixa considerada adequada.

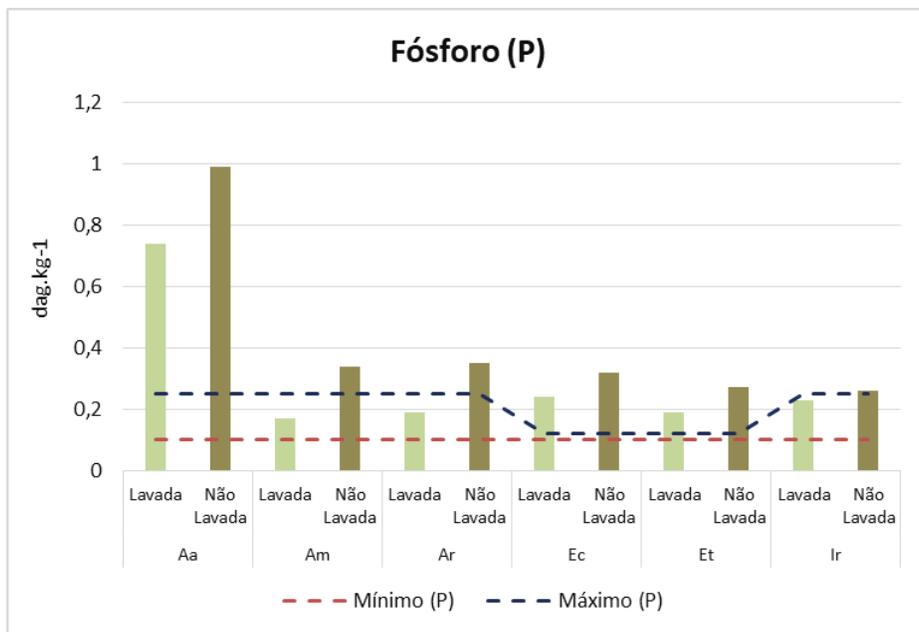


Gráfico 14 - Teores de fósforo para as espécies no ambiente Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

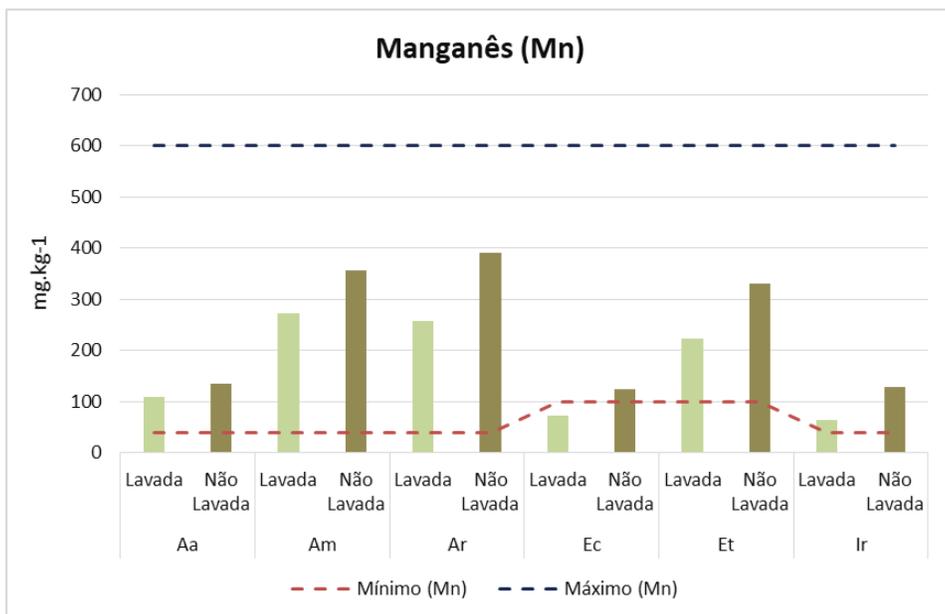


Gráfico 15 - Teores de manganês para as espécies no ambiente Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

À exceção da *Acacia auriculiformes*, todas as outras espécies apresentaram teores satisfatórios de Mg, P e Mn, independentemente do valor estar ligeiramente acima do indicado como máximo adequado ou abaixo do mínimo, não configurando sintomas visuais de deficiência ou toxidez.

O micronutriente Boro (B) neste ambiente estudado, quando comparado com o ambiente Pátio de Carvão e com ambiente de Mata Atlântica, apresentou teores abaixo do mínimo considerado adequado para as mesmas espécies (*Corymbia citriodora* e *torelliana*). As demais espécies apresentaram valores dentro do intervalo tido como adequado.

O B é um bom exemplo de como o monitoramento da quantidade dos nutrientes é importante para o crescimento e desenvolvimento da planta. Este micronutriente tem efeito sinérgico em relação ao Cálcio (Ca), uma vez que a absorção de um nutriente interfere na absorção de outro. O Ca, que é considerado relativamente imóvel na planta, quando em presença de B, eleva sua mobilidade. (CAMARGO; SILVA, 1975).

Levando-se em consideração apenas as folhas lavadas, 50% das espécies apresentaram teores inferiores ao valor mínimo adequado para o Cobre (Cu), como o caso da *Corymbia citriodora*, *Corymbia torelliana* e *Handronanthus heptaphyllus*. O mesmo aconteceu no ambiente Pátio de Carvão, onde 50% das espécies florestais apresentam teores inferiores ao limite mínimo esperado. Entretanto, em ambiente de Mata Atlântica, não foi observado o mesmo comportamento. Como já destacado, a disponibilidade de Cu pode ser afetada pelo pH do solo, e no ambiente industrial Pátio de Minério, o pH do solo se mostrou mais elevado que os encontrados no Pátio de Carvão, influenciando na disponibilidade de Cu.

Para o micronutriente Ferro (Fe), apesar do comportamento semelhante aos outros dois ambientes estudados, em que a quantidade de Fe em folhas não lavadas são todas superiores aos encontrados em folhas lavadas, para esse ambiente, os teores das folhas não lavadas se mostraram consideravelmente superiores quando comparados aos demais ambientes. Entretanto, ao efetuar a lavagem da folha, a quantidade do micronutriente Fe se mostrou substancialmente. Isso confirma o que Camargo e Silva (1975) afirmaram ao dizer que a absorção do Fe pelas folhas é relativamente baixa. Apenas a espécie *Acacia Mangium* apresentou resultados superiores ao considerado apropriado, inclusive duas espécies (*Corymbia citriodora* e *torelliana*) apresentaram teores inferiores ao valor mínimo tido como satisfatório (Gráfico 16).

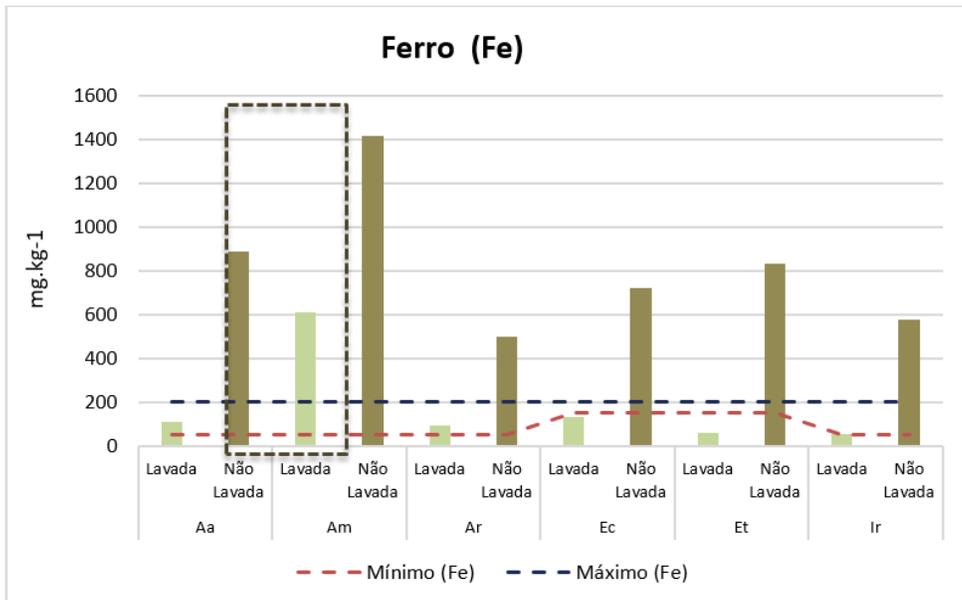


Gráfico 16 - Teores de Ferro para as espécies no ambiente Pátio de Minério.

Fonte: O Autor.

O Zinco (Zn) apresentou um comportamento semelhante aos verificados nos outros ambientes. Nos três ambientes estudados, o Zn apresentou teores baixos, mas não em quantidades que levassem à sua deficiência.

Da mesma forma, foi verificado que altos teores de Ferro e as alterações do pH do solo influenciam na disponibilidade do Zn. Ferreira e Cruz (1991) afirmam que é possível controlar a disponibilidade do Zn pela utilização de algumas práticas agrícolas, como por exemplo, o uso de adubos orgânicos naturais, que tende a diminuir a disponibilidade do Zn devido à formação de quelatos. Mas é possível também aumentar o aproveitamento dos micronutrientes com o emprego de adubos nitrogenados, demonstrando assim a importância do acompanhamento pela diagnose visual em conjunto com a foliar para identificar, por exemplo, a necessidade de adubação de manutenção, antes da manifestação visual de deficiência ou toxidez de nutrientes.

O monitoramento, as análises e as comparações entre os ambientes estudados foram de suma importância para verificar a influência do comportamento e adaptação das espécies. Malavolta (2006) destaca que nem sempre a análise de um único elemento isoladamente é suficiente para a avaliação do estado nutricional, ou seja, os elementos devem estar em níveis adequados para o crescimento, desenvolvimento e produção. Para tanto, a relação entre vários nutrientes tem que estar em equilíbrio.

6 I DIAGNOSE FOLIAR E NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS EM AMBIENTES DA MATA ATLÂNTICA E INDUSTRIAL

O estudo da diagnose foliar das espécies agroflorestais cultivadas no ambiente Mata Atlântica em condições naturais e nos ambientes industriais no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério mostra a importância do ambiente de cultivo no comportamento das espécies em relação à disponibilidade dos nutrientes. As discussões foram feitas com base nos resultados obtidos na análise foliar utilizando o procedimento padrão de lavagem das folhas no laboratório. Para isso, foi utilizada a comparação das amplitudes dos nutrientes dentro de cada ambiente, conforme os Gráficos 17 e 18. É relevante ressaltar que nos gráficos são destacadas as diferenças nas amplitudes máxima e mínima dos teores verificados nas Tabelas 3 e 4, 5 a 10.

A amplitude demonstra que, em um mesmo ambiente, os teores de macro e micronutrientes são variáveis, e sua absorção sofre interferência em função da espécie. O processo de absorção é influenciado pela espécie e por suas características genéticas. Há diferenças na capacidade e na velocidade de absorção entre espécies e variedades (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). A comparação das mesmas espécies em diferentes ambientes é importante para avaliar o comportamento das mesmas quanto à disponibilidade de nutrientes, além de outros aspectos, como a influência antropogênica e demais fatores edafoclimáticos.

Assim, a amplitude é um indicativo da importância do ambiente no processo de disponibilidade dos nutrientes e absorção pelas plantas. Outro fator que merece destaque é a influência das espécies quanto à absorção.

6.1 Macronutrientes

Os resultados para os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S são apresentados no Gráfico 17 e discutidos a seguir:

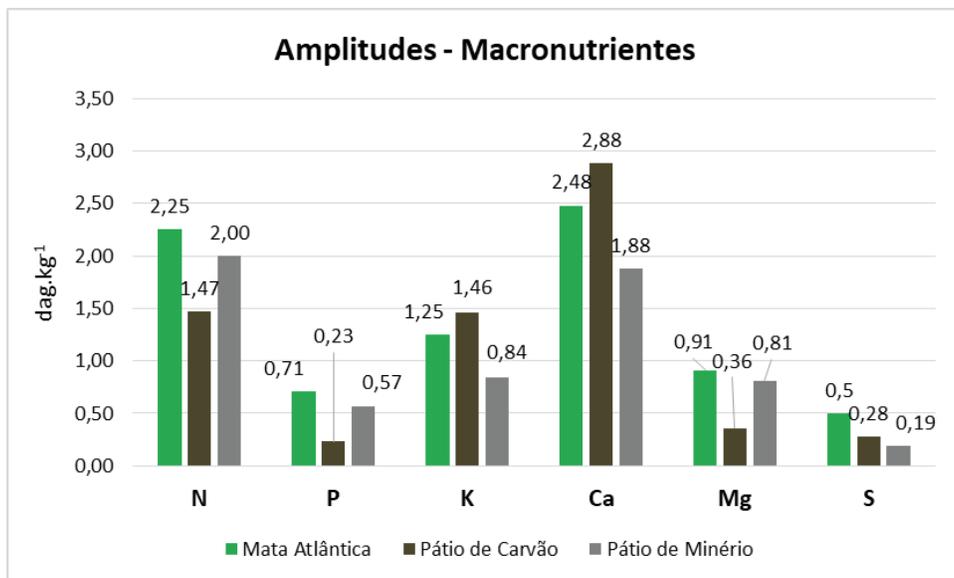


Gráfico 17 - Amplitudes dos Macronutrientes.

Fonte: O Autor.

6.1.1 Nitrogênio (N)

Os teores foliares de N nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica, considerado como padrão de referência, apresentaram uma amplitude de 1,56 a 3,81 dag.kg⁻¹, observados nas espécies *Handroanthus heptaphyllus* e *Acacia auriculiformis* respectivamente, com uma diferença de 2,25 dag.kg⁻¹

No Pátio de Carvão, a amplitude foi de 1,55 a 3,02 dag.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia citriodora* e *Bauhinia forficata*, com uma diferença de 1,47 dag.kg⁻¹. No Pátio de Minério, a amplitude foi de 1,74 a 3,74 dag.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia torelliana* e *Acacia auriculiformis*, com diferença de 2,0 dag.kg⁻¹.

As espécies agrônômicas e florestais apresentaram diferenças nas faixas dos teores nutricionais. No entanto, esses resultados ficaram próximos uns dos outros. A maior amplitude ocorreu no ambiente Mata Atlântica 2,25 dag.kg⁻¹, seguido do Pátio de Minério, 2,0 dag.kg⁻¹, e por último o Pátio de Carvão, com 1,47 dag.kg⁻¹.

Esses resultados corroboram a importância das espécies no processo de absorção nutricional.

6.1.2 Fósforo (P)

No ambiente Mata Atlântica, a amplitude foi de 0,15 a 0,86 dag.kg⁻¹, observados, respectivamente, nas espécies *Acacia mangium* e *Corymbia torelliana*, que apresentaram

o mesmo valor de 0,15 dag.kg⁻¹, e a *Acacia auriculiformis* com valor superior de 0,86 dag.kg⁻¹ com uma amplitude de 0,71 dag.kg⁻¹

No ambiente industrial Pátio de Carvão, a amplitude foi de 0,11 a 0,34 dag.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia citriodora* e *Senna macranthera*, com uma diferença de 0,23 dag.kg⁻¹. No Pátio de Minério, a amplitude foi de 0,17 a 0,74 dag.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis*, com uma diferença de 0,57 dag.kg⁻¹.

A maior diferença foi observada no ambiente Mata Atlântica (0,71 dag.kg⁻¹), seguido do Pátio de Minério (0,57 dag.kg⁻¹) e por último o Pátio de Carvão, com 0,23 dag.kg⁻¹. Apesar das diferenças quanto aos ambientes, é possível inferir que as amplitudes entre os teores de P nas espécies no ambiente Mata Atlântica e no ambiente industrial no Pátio de Minério ficaram próximos, demonstrando que as plantas podem apresentar comportamentos semelhantes quanto ao P em diferentes ambientes.

É importante destacar que, embora o menor valor observado para o P tenha ocorrido no ambiente industrial do Pátio de Carvão, não foram observados sintomas visuais de deficiência para esse macronutriente.

6.1.3 Potássio (K)

Os teores foliares de K nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude de 0,63 a 1,88 dag.kg⁻¹, observados respectivamente nas espécies *Bauhinia forficata* e *Acacia auriculiformis*, com uma diferença de 1,25 dag.kg⁻¹. Os maiores valores para as amplitudes foram observados no ambiente Pátio de Carvão, variando de 0,78 a 2,24 dag.kg⁻¹ para as espécies *Corymbia citriodora* e *Acacia auriculiformis* respectivamente, com amplitude de 1,46 dag.kg⁻¹. Os resultados obtidos para o ambiente industrial Pátio de Minério variaram de 0,73 a 1,57 dag.kg⁻¹ para as espécies *Corymbia torelliana* e *Acacia auriculiformis*, sendo considerada a menor amplitude verificada entre os três ambientes para o macronutriente K.

O maior valor para a amplitude de K foi verificado no ambiente industrial no Pátio de Carvão, quando comparado aos demais ambientes, comportamento esse que apresentou maior semelhança com o ambiente natural de Mata Atlântica e maior diferença se comparado ao ambiente industrial Pátio de Minério.

6.1.4 Cálcio (Ca)

Os teores foliares de Ca nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude de 2,48 dag.kg⁻¹, variando de 0,83 a 3,31 dag.kg⁻¹ nas espécies *Corymbia torelliana* e *Schinus terebinthifolius*, respectivamente.

No Pátio de Carvão, a amplitude para o Ca foi de 0,8 a 3,68 dag.kg⁻¹ respectivamente

para as espécies *Corymbia citriodora* e *Senna macranthera*, com a amplitude de 2,88 dag.kg⁻¹. No ambiente Pátio de Minério, a amplitude foi de 1,88 dag.kg⁻¹, com variações de 0,86 a 2,74 dag.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia torelliana* e *Acacia auriculiformis*.

O comportamento do Ca se mostrou semelhante ao que ocorreu com o K. No ambiente Pátio de Carvão, observou-se a maior amplitude, assemelhando-se mais ao comportamento verificado no ambiente Mata Atlântica e menos semelhança com o ambiente industrial do Pátio de Minério.

6.1.5 Magnésio (Mg)

Os teores foliares de Mg nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude de 0,23 a 1,14 dag.kg⁻¹ observados respectivamente nas espécies *Corymbia torelliana* e *Acacia auriculiformis*, e foram considerados os mais altos valores quando comparados com os verificados nos ambientes do Pátio de Carvão, que variaram de 0,22 a 0,58 dag.kg⁻¹, e no ambiente do Pátio de Minério, que variaram de 0,23 a 1,04 dag.kg⁻¹. O Pátio de Carvão apresentou amplitude consideravelmente menor, se comparado aos outros dois ambientes. Isto demonstra que para este macronutriente a absorção pelas plantas das diferentes espécies se mostrou mais homogênea.

6.1.6 Enxofre (S)

Os teores foliares de S nas oito espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentou uma amplitude de 0,13 a 0,63 dag.kg⁻¹ respectivamente nas espécies *Corymbia citriodora* e *Acacia auriculiformis*, com uma diferença de 0,5 dag.kg⁻¹.

No ambiente Pátio de Carvão, a amplitude foi de 0,09 a 0,37 dag.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia citriodora* e *Senna macranthera*, com uma diferença de 0,28 dag.kg⁻¹. No ambiente Pátio de Minério, a amplitude foi de 0,09 a 0,28 dag.kg⁻¹ para as espécies *Corymbia torelliana* e *Acacia auriculiformis* respectivamente com uma diferença de 0,19 dag.kg⁻¹.

Os teores nutricionais de S ocorreram com mais similaridades entre as espécies nos ambientes industriais, visto que neles a amplitude se mostrou menor quando comparado às espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica.

6.2 Micronutrientes

Os resultados para os micronutrientes Fe, Zn, Cu, Mn e B são apresentados no Gráfico 18 e discutidos a seguir:

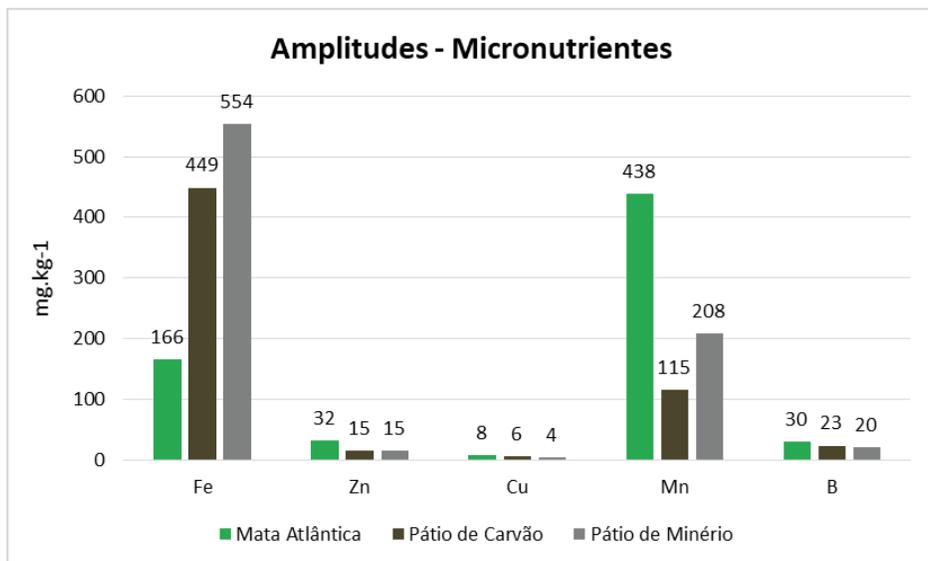


Gráfico 18 - Amplitudes dos micronutrientes.

Fonte: O Autor.

6.2.1 Ferro (Fe)

Os teores foliares de Fe verificados nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude de 135 a 301 mg.kg⁻¹, observados respectivamente nas espécies *Bauhinia forficata* e *Acacia auriculiformis*. Esses teores foram considerados os menores valores, quando comparados com os obtidos no ambiente industrial do Pátio de Carvão, que variaram de 129 a 578 mg.kg⁻¹, e no Pátio de Minério, que variaram de 57 a 611 mg.kg⁻¹.

Os maiores valores foram obtidos no ambiente industrial do Pátio de Minério, provavelmente em função da movimentação de matéria-prima industrial rica em Fe, o que resultou em amplitudes substancialmente maiores nos ambientes industriais.

O micronutriente Fe se mostrou mais uniforme nas espécies cultivadas no ambiente natural. É interessante destacar que as plantas com os menores teores observados no cálculo da amplitude se encontraram nos ambientes industriais, demonstrando que, mesmo com a presença de particulado, não houve influência na absorção, o que pode ser comprovado nas plantas que apresentaram menores teores deste micronutriente quando comparado com o ambiente Mata Atlântica sem interferências antropogênicas.

6.2.2 Zinco (Zn)

Os teores foliares de Zn nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude de 15 a 47 mg.kg⁻¹ e foram considerados os maiores valores

de amplitude quando comparados com os verificados nos ambientes industriais Pátio de Carvão, que variaram de 10 a 25 mg.kg⁻¹, e no ambiente do Pátio de Minério, que variaram de 9 a 24 mg.kg⁻¹.

O Zn apresentou comportamento semelhante nos três ambientes estudados quanto aos baixos teores, estando inclusive abaixo do considerado adequado, embora não tenha sido observada deficiência nutricional. A maior amplitude foi observada para as espécies do ambiente de Mata Atlântica, o que revela o comportamento mais desuniforme na absorção deste micronutriente. Já no ambiente industrial, houve maior uniformidade, conforme mostrado no Gráfico 10, referente ao Pátio de Carvão.

6.2.3 Cobre (Cu)

Os teores foliares de Cu nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude entre 6 a 14 mg.kg⁻¹ com uma diferença de 8 mg.kg⁻¹.

No ambiente Pátio de Carvão, a amplitude foi de 2 a 8 mg.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia citriodora* e *Senna macranthera*, com uma diferença de 6 mg.kg⁻¹. No Pátio de Minério, a amplitude foi de 4 a 8 mg.kg⁻¹, com uma diferença de 4 mg.kg⁻¹.

A maior diferença da amplitude foi observada no ambiente Mata Atlântica seguido do Pátio de Minério e, por último, no ambiente Pátio de Carvão. Se comparado ao ambiente Mata Atlântica, o Pátio de Minério apresentou a metade da amplitude, demonstrando que neste ambiente a variação de absorção entre uma espécie e outra se mostrou bem menor que no ambiente considerado como referência.

6.2.4 Manganês (Mn)

Os teores foliares de Mn, nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica, apresentaram uma amplitude de 57 a 495 mg.kg⁻¹, observados respectivamente nas espécies *Handroanthus heptaphyllus* e *Corymbia torelliana*, com uma diferença de 438 mg.kg⁻¹.

No Pátio de Carvão, a amplitude foi de 35 a 150 mg.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Acacia mangium* e *Corymbia torelliana*, com uma diferença de 115 mg.kg⁻¹. No Pátio de Minério, a amplitude foi de 64 a 272 mg.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Handroanthus heptaphyllus* e *Acacia mangium*, com uma diferença de 208 mg.kg⁻¹.

Mesmo com relevante diferença de amplitude do ambiente Mata Atlântica (438 mg.kg⁻¹) para o ambiente industrial, com os valores 115 mg.kg⁻¹ e 208 mg.kg⁻¹, os teores encontrados em todos os ambientes se apresentaram dentro da faixa considerada satisfatória.

6.2.5 Boro (B)

Os teores foliares de B nas espécies cultivadas no ambiente Mata Atlântica apresentaram uma amplitude de 19 a 49 mg.kg⁻¹ observados respectivamente nas espécies *Bauhinia forficata* e *Schinus terebinthifolius*, com uma diferença de 30 mg.kg⁻¹.

No Pátio de Carvão, a amplitude foi de 25 a 48 mg.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Corymbia torelliana* e *Acacia mangium*, com uma diferença de 23 mg.kg⁻¹. No Pátio de Minério, a amplitude foi de 21 a 41 mg.kg⁻¹ respectivamente para as espécies *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis*, com uma diferença de 20 mg.kg⁻¹.

Os menores valores se mostraram semelhantes nos três ambientes, o mesmo acontecendo para os maiores valores, o que demonstra que, para este micronutriente, independentemente do ambiente de cultivo, as espécies se comportaram de forma uniforme.

6.3 Metais Pesados

No monitoramento dos metais pesados, por meio das análises foliares, não foi detectada a presença de chumbo, cádmio, níquel e cromo nas folhas das plantas, tanto para as condições de folhas lavadas e não lavadas.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento do estado nutricional por meio da diagnose foliar se mostrou eficiente nos três ambientes analisados, e sua eficiência foi comprovada pela ausência de sintomas visuais de deficiência ou excesso nutricional durante o cultivo.

O método utilizado, comparando os resultados obtidos nas folhas lavadas e não lavadas, permitiu identificar que os teores dos nutrientes foram superiores nas folhas não lavadas, nos três ambientes (ambiente natural da Mata Atlântica e nos ambientes industrial Pátio de Carvão e Pátio de Minério), indicando que, mesmo no ambiente natural, sem interferência antropogênica, ocorrem particulados oriundos de outras fontes, não sendo característica exclusiva do meio industrial.

A utilização da referência de adequabilidade dos teores, encontrada no Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo, possibilitou a comparação simples e efetiva, podendo-se, de forma clara, visualizar o comportamento dentro e entre os ambientes.

Na fazenda Reginaldo Conde, ambiente natural de Mata Atlântica, bem como no Pátio de Minério, a espécie *Senna macranthera* não apresentou folhas suficientes para a análise, demonstrando que esse tipo de ocorrência pode acontecer em qualquer ambiente. No Pátio de Minério também não foi possível coleta de folhas para a espécie *Bauhinia forficata*. Mesmo em ambiente industrial, no Pátio de Carvão, todas as espécies continham folhas para realização das análises.

De maneira geral, os teores de Nitrogênio (N) e Potássio (K) apresentaram níveis satisfatórios e comportamentos semelhantes nos três ambientes estudados. Apesar da alta incidência de Enxofre (S) nos ambientes industriais, as folhas não demonstraram comportamento de altos teores sequer para as folhas não lavadas. Apenas uma espécie (Acácia Auriculiformes) apresentou valores substancialmente elevados para folhas não lavadas no Pátio de Minério, mas após a lavagem da folha, os teores ficaram muito próximos ao nível máximo considerado adequado. Os níveis podem ser considerados satisfatórios para os três ambientes, apresentando vários comportamentos em comum.

A maioria das espécies apresentaram altos teores de Cálcio (Ca), com desempenhos muito parecidos para os três ambientes. Inclusive o ambiente industrial do Pátio de Minério apresentou os teores mais próximos dos considerados adequados, com melhor comportamento que no ambiente natural. Além da diagnose visual, a toxidez deste nutriente foi descartada em função do teor adequado de Potássio nos três ambientes, uma vez que excesso de Ca pode levar à diminuição de K nas folhas.

Houve uma correspondência interessante entre o ambiente de Mata Atlântica e o Pátio de Minério em uma das espécies. A Acácia auriculiformes apresentou, nesses dois ambientes, alto teor de Magnésio (Mg), que provavelmente aumentou a absorção de Fósforo (P) e diminuiu a absorção de Manganês (Mn). As demais espécies apresentaram valores mais próximos ou dentro do teor adequado para os nutrientes.

No Pátio de Carvão, não houve essa correspondência, mas houve semelhança nas espécies *Corymbia citriodora* e *torelliana* com o ambiente natural. Os teores de Mg dessas espécies apresentaram valor abaixo do teor mínimo de adequabilidade, inclusive com valores bem próximos nos dois ambientes. As demais espécies apresentaram correspondência de comportamento.

Quanto ao Manganês, o Pátio de Carvão, apesar de a maioria das espécies se encontrar dentro dos valores esperados, os teores foram relativamente baixos se comparados aos demais ambientes.

Para o Fe, apesar de semelhantes no comportamento, os teores se mostraram em intensidades diferentes dentro de cada ambiente, para as folhas não lavadas. Em todos eles, a quantidade do nutriente encontrada nas folhas não lavadas foi maior que nas folhas lavadas. Mas no ambiente industrial, esses teores alcançaram números substancialmente maiores. O Pátio de Minério apresentou os maiores valores, o que já era esperado, uma vez que no local há movimentação de material rico em particulado de Fe. Com a lavagem das folhas, os teores apareceram notadamente em menor quantidade, apresentando inclusive níveis levemente inferiores em algumas espécies no meio industrial, como foi o caso da *Corymbia torelliana*.

Para os micronutrientes Boro (B), Cobre (Cu) e Zinco (Zn), os teores estavam nos

três ambientes, próximos ou abaixo da faixa mínima considerada adequada. Nenhuma planta apresentou deficiência. Como mencionado, alterações no pH do solo podem interferir na disponibilidade do Zn e Cu. O B em níveis inferiores, mostrou-se menos preocupante do que se estivesse elevado, visto que é tóxico para muitas espécies em níveis pouco superiores àqueles requeridos para as condições normais de desenvolvimento.

A amplitude possibilitou verificar como se comporta a absorção dos mesmos nutrientes em diferentes ambientes. Alguns apresentaram mais ou menos homogeneidade de absorção entre as espécies e houve inclusive semelhanças, como foi o caso do Boro.

Além disso, foi ainda verificada e descartada a presença de metais pesados, uma vez que não houve seletividade por parte das plantas ao absorver os nutrientes. Com isso, o estudo se mostrou completo, relevante e de importante contribuição para futuras pesquisas na utilização de quebra-ventos em ambientes industriais.

REFERÊNCIAS

CAMARGO, P. N.; SILVA, O. **Manual de Adubação Foliar**. São Paulo - SP: Herba, 1975. 258 p.

COSTA, A. N. da. **Uso do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS), na avaliação do estado nutricional do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no Estado do Espírito Santo**. 1995. 94 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

COSTA, A. N. da. Uso do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) no mamoeiro. In: MENDES, L.G.; DANTAS, J.L.L.; MORALES, C.F.G. **Mamão no Brasil**. Cruz das Almas, BA: EUFBA/ EMBRAPA-CNPMP, 1996. p. 49 - 55.

COSTA, A. N. da; COSTA, A. de F. S. da. Nutrição e adubação. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F.S. da. (eds.). **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. Vitória: Incaper, 2003. p. 201 - 227.

COSTA, A. N.: Diagnóstico foliar na cultura do mamão. In: PRADO, R. M. **Nutrição de plantas diagnóstico foliar**. São Paulo: Jaboticabal, 2012. p. 259 - 279.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba – SP: KP Potafos, 1991, 734 p.

HARIDASAN, M.; ARAÚJO, G. M. Aluminium-accumulating species in two forest communities in the cerrado region of central Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 24, p.15 - 26, 1988.

HARIDASAN, M. Solos de mata de galeria e nutrição mineral de espécies arbóreas em condições naturais. In: RIBEIRO, J. F. (Ed.) **Cerrado: matas de galeria**. EMBRAPACAPAC, Planaltina, DF, 1998. p. 19-28.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006. 631 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química Agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo - SP: Ceres, 1976. 528 p.

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes na adubação**. Paulínia - SP: Nutriplant indústria e Comércio Ltda, 1986, 70 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2.ed., rev. e atual., Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plant.** 2. ed. New York: Academy Press, 1995. 889 p.

MUNSON, R. D.; NELSON, W. L. Principles and practices in plant analysis. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Eds.). **Soil testing and plant analysis.** Madison: Soil Science Society of America, 1973. p 223 - 248.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação.** Vitória, ES, SEEA/ Incaper/Cedagro, 2007. 305 p.

PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI, A. **Guia de Interpretação de análise de solo e foliar.** Vitória - ES: Incaper, 2013. 104 p.

RAIJ, B. V. CANTARELA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p. Boletim Técnico, 100.

SOBRE OS AUTORES

ADELAIDE DE FÁTIMA SANTANA DA COSTA- Engenheira Agrônoma, Doutora em Fitotecnia, Pesquisadora do Incaper. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/0095551253223381>

AURELIANO NOGUEIRA DA COSTA- Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador do Incaper. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/0286550882565992>

BERNARDO ENNE CORRÊA DA SILVA- Biólogo, Especialista em Gestão Ambiental, Gerente de Sustentabilidade e Meio Ambiente - ArcelorMittal Tubarão. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/6134491231055828>

CESAR JUNIO DE OLIVEIRA SANTANA- Engenheiro Florestal, Doutor em Engenharia Florestal - Manejo Florestal Remsoft Integrator Technology, REMSOFT. Canadá
<http://lattes.cnpq.br/5101276943283128>

CHARLES FALK- Tecnólogo de nível superior em Saneamento Ambiental, MBA em Gestão Ambiental, Pesquisador-bolsista da Fundagres Inovar. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/4513341962615510>

DIOLINA MOURA SILVA- Bióloga, Doutora em Fisiologia Vegetal, Professora da UFES. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/0341541450627705>

FABIO FAVARATO NOGUEIRA- Engenheiro Florestal, Pesquisador-bolsista da Fundagres Inovar. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/5763251948745059>

GUILHERME CORRÊA ABREU - Engenheiro Industrial Mecânico, Doutor em Engenharia Mecânica, Gerente Geral de Relações Institucionais de Sustentabilidade - ArcelorMittal Brasil. Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/7644840213741072>

ISRAEL MARINHO PEREIRA- Engenheiro Florestal, Doutor em Engenharia Florestal, Professor da UFVJM Diamantina – MG
<http://lattes.cnpq.br/4731214583033664>

JOÃO BOSCO REIS DA SILVA- Engenheiro Mecânico, MBA Gestão de Negócios e Especializações em Gestão Ambiental e Qualidade e Produtividade. Gerente Geral de Sustentabilidade e Relações Institucionais - ArcelorMittal Tubarão. Vitória - ES

LETICIA PEREIRA ROCHA- Engenheira de Produção, Pesquisadora-bolsista da Fundagres Inovar. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/9345301196430200>

LUCIANA CORRÊA MAGALHÃES- Engenheira Metalurgista, Mestre em Engenharia Mecânica, Gerente de Meio Ambiente e Coprodutos ArcelorMittal Aços Longos Brasil – Industrial, Metálicos e Comercial. Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/2630964884982007>

MARIA DA PENHA PADOVAN- Bióloga, Doutora em Sistemas Agroflorestais, Agente de Desenvolvimento Rural do Incaper. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/1491523303247538>

MARCO AURÉLIO DE ABREU BORTOLINI- Engenheiro Ambiental, Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade, Pesquisador-bolsista da Fundagres Inovar. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/7058579783181610>

PEDRO LUÍS PEREIRA TEIXEIRA DE CARVALHO- Engenheiro Florestal, Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, Gerente de Agroecologia e Produção Vegetal - SEAG. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/5151792967632926>

PEDRO MAZZOCCO PEREIRA- Biólogo, Doutor em Biologia Vegetal - UFES. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/4312892719856159>

RAMON MELO GONÇALVES- Especialista em Patologia da Construção Civil – ArcelorMittal Tubarão. Vitória – ES

REYNALDO CAMPOS SANTANA- Engenheiro Florestal, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pós-Doutor pela University of Florida/UF, Professor da UFVJM . Diamantina - MG
<http://lattes.cnpq.br/3588575605488750>

ROBERTA CRISTINA COTTA DUARTE CONDE- Engenheira Agrônoma e Bióloga, Pesquisadora-bolsista da Fundagres Inovar. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/672469855829620>

ROGÉRIO CARVALHO GUARÇONI- Engenheiro Agrícola, Doutor em Produção Vegetal, Pesquisador do Incaper. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/2239890092242136>

THAÍS ARAUJO DOS SANTOS- Bióloga, Doutora em Biologia Vegetal, Pós-doutoranda em Biologia Vegetal - UFES. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/1391606489278570>

XISMÊNIA SOARES SILVA GASPARINI- Bióloga, Mestre em Biologia Vegetal, Doutoranda em Biologia Vegetal - UFES. Vitória - ES
<http://lattes.cnpq.br/1150395422533450>

Cinturão Verde:

Sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Cinturão Verde:

Sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

