

Cinturão Verde:

Sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

Aureliano Nogueira da Costa
(Organizador)



 **Atena**
Editora

Ano 2022

Cinturão Verde:

Sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

Aureliano Nogueira da Costa
(Organizador)



 **Atena**
Editora
Ano 2022

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.





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 contribuíram 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

FERTILIDADE DE SOLOS DE CINTURÃO VERDE EM AMBIENTES INDUSTRIAIS

Data de aceite: 08/02/2022

Aureliano Nogueira da Costa

Bernardo Enne Corrêa da Silva

Rogério Carvalho Guarçoni

Adelaide de Fátima Santana da Costa

Marco Aurélio de Abreu Bortolini

1 | INTRODUÇÃO

A pesquisa aplicada na fertilidade de solos em ambientes industriais é fundamental para o diagnóstico da fertilidade do solo e da disponibilidade dos nutrientes às espécies agronômicas e florestais na composição de quebra-ventos.

No Estado do Espírito Santo, têm ocorrido expressivos avanços científicos e tecnológicos com as pesquisas aplicadas, realizadas em cinturões verdes, na ArcelorMittal Tubarão, que, de forma inédita, avaliam a fertilidade de solos e a nutrição de plantas em ambientes industriais comparativamente com o ambiente Mata Atlântica sem interferência antropogênica, apresentando resultados inovadores quanto à utilização de barreiras vegetais como quebra-ventos.

Assim, a avaliação comparativa do comportamento das espécies em sistemas

de cultivo, no ambiente Mata Atlântica, sem interferência da ação antrópica, quanto ao crescimento, desenvolvimento e adaptação e no ambiente Industrial da ArcelorMittal representa um diferencial metodológico nesse processo.

O uso do cinturão verde para fins de quebra-vento em ambientes industriais é uma alternativa para a proteção das áreas no entorno desses ambientes com importante contribuição na redução da velocidade do vento e do potencial impacto no arraste de particulados para as áreas urbanas, proporcionando, dessa forma, melhorias nas condições ambientais e microclimáticas das áreas protegidas.

A cobertura vegetal exerce um importante papel na sustentabilidade ambiental pela sua contribuição e melhoria da qualidade do ar, atendendo a três princípios básicos: separação, alteração e remoção.

A separação consiste no papel passivo das faixas verdes em aumentar a distância entre a fonte emissora e o receptor, formando uma zona tampão e possibilitando um maior tempo para a diluição da poluição.

O princípio básico da alteração consiste no uso de espaços vegetados para modificar o meio aéreo por onde a poluição se move em direção ao receptor, com interferência direta no microclima e no fluxo de vento.

A remoção consiste na atuação da vegetação para redução da poluição, por meio

da absorção de gases, sedimentação por efeito da gravidade e retenção por contato da partícula com as plantas, reduzindo a sua movimentação e proporcionando a deposição e arraste das partículas pela chuva.

As pesquisas aplicadas desenvolvidas na área de fertilidade de solos nos sistemas agroflorestais e cinturões verdes apresentam importantes contribuições na minimização dos riscos de degradação e perdas de nutrientes no sistema solo-planta, além de contribuir com a restauração da cobertura agroflorestal. Possibilita também o restabelecimento das relações entre solos, plantas e animais, com conservação da fauna e de outros valores ecológicos, atuando como atrativos e abrigo para animais silvestres de grande importância e contribuição para a diversificação e biodiversidade. Os componentes arbóreos são utilizados de forma estratégica para o controle de erosão e aporte de matéria orgânica.

2 I AVANÇOS NA FERTILIDADE DE SOLO

O solo é um sistema complexo, de natureza física, química e mineralógica variável que, além da função de sustentação das plantas, tem o importante papel na disponibilidade de água e nutrientes presentes na solução do solo. As relações de troca são fortemente influenciadas pela interação existente no sistema solo-planta-atmosfera.

Geralmente, o solo não é maciço, apresenta poros como uma esponja que podem ser ocupados por água ou ar, dependendo das condições de umidade. A água que ocupa os poros do solo, denominada solução do solo, contém diversas substâncias minerais e orgânicas nela dissolvidas. Assim, qualquer nutriente ou substância tóxica que estiver presente na solução do solo pode ser absorvida pela planta (TOMÉ JUNIOR, 1997).

Os avanços científicos e tecnológicos obtidos nos estudos da fertilidade de solos foram notáveis nos ambientes industriais comparados com os resultados em ambiente Mata Atlântica e permitiram uma análise da fertilidade e da disponibilidade dos nutrientes nos solos.

2.1 Fertilidade de Solo

O diagnóstico da fertilidade do solo é recomendado durante todo o ciclo das plantas, pela necessidade do monitoramento da disponibilidade e equilíbrio entre os nutrientes em todas as fases do cultivo, contribuindo ao mesmo tempo para a recomendação da adubação (COSTA, 1995).

As análises física e química dos solos são fundamentais para o eficiente manejo da fertilidade. O diagnóstico feito por meio dessas análises tem grande importância, tanto para a recomendação de nutrientes na implantação dos cultivos agrícolas e florestais, quanto para o manejo e tratamentos culturais durante o desenvolvimento das plantas.

Dessa forma, o monitoramento das características físicas e químicas dos solos e

nutrição das plantas são fundamentais para o entendimento da relação entre os nutrientes nas espécies utilizadas para quebra-ventos implantados em ambientes industriais na ArcelorMittal Tubarão, nos pátios de estocagem de carvão e de minérios e em condições naturais de Mata Atlântica.

O sucesso do manejo da fertilidade do solo passa, necessariamente, pelo diagnóstico da fertilidade do solo e da necessidade de calagem para fins de recomendação de adubação. Os diagnósticos da fertilidade do solo e da nutrição da planta, quando realizados de forma conjunta, utilizam os princípios da relação solo-planta e enfatizam a importância dos fatores químicos, físicos e biológicos que atuam simultaneamente na disponibilidade de nutrientes e na absorção pela planta.

2.2 Nutrientes no Solo

A disponibilidade dos nutrientes no solo em quantidades adequadas é de fundamental importância para o crescimento e desenvolvimento das espécies agrônomicas e florestais. Entretanto, 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, podendo-se destacar sua forma e sua solubilidade; as características do ambiente do solo, como o pH; a umidade e a temperatura, além da capacidade assimilativa da planta, o que evidencia a necessidade da avaliação direta do estado nutricional de plantas por meio de análise foliar (COSTA, 1995).

Os nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas são denominados de macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes são: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) e os micronutrientes são: Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cobre (Cu) e Boro (B).

2.3 Disponibilidade de Nutrientes

A disponibilidade de nutrientes é influenciada por diversos fatores, tais como, a presença de água no perfil do solo, a interação entre os nutrientes e as características físicas e químicas dos solos.

A quantidade total do nutriente compreende todas as formas químicas desse nutriente existentes no solo, estando disponível ou não. Somente a parte que se encontra disponível na solução do solo, ou que esteja em condições de ser deslocada para a solução do solo, durante o período correspondente ao ciclo da cultura, estará disponível para as plantas (TOMÉ JUNIOR, 1997).

A acidez do solo tem influência direta na disponibilidade do nutriente na solução do solo, conforme mostrado na Figura 1, sendo que a faixa de pH entre 6,0 a 6,5 é considerada a mais adequada para a maioria dos cultivos agrícolas e florestais.

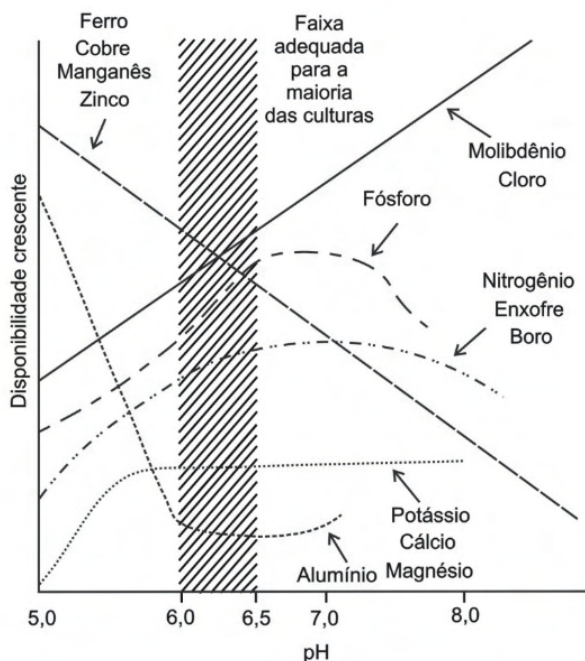


Figura 1 - Disponibilidade de nutrientes em função do pH do solo.

Fonte: PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI (2013).

3 | ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA NO SOLO

3.1 Análises Físicas

As análises físicas dos solos nas áreas experimentais, nos ambientes industriais e de Mata Atlântica, foram realizadas no laboratório de análise química e física de solos do Incaper, sendo as amostras coletadas no momento da implantação do experimento para classificação textural do solo (Tabela 1).

As principais frações granulométricas que compõem o solo são partículas entre 2 e 0,02 mm (areia), a 0,02 a 0,002 mm (silte) e menores que 0,002mm (argila). As partículas com granulometrias maiores contribuem para o aumento da porosidade do solo e o melhor desenvolvimento das raízes (PREZOTTI et al., 2007).

Segundo Rajj e Quaggio (1983), a proporção relativa das frações argila, silte ou areias no solo é que define a textura. As diversas classes texturais são utilizadas principalmente para a classificação dos solos. De uma forma simplificada, uma amostra de solo é considerada arenosa se contiver mais de 85% de areias, argilosa se contiver mais de 35% de argila e barrenta ou franca se contiver menos de 35% de argila e menos de 85% de areias.

Na Tabela 1 são apresentadas as análises granulométricas dos solos das áreas avaliadas.

Área Experimental	Areia		Silte	Argila	Classificação Textural
	Fina	Grossa			
	g/kg				
Mata Atlântica	19	13.2	353.8	614	Muito argilosa
Pátio de Carvão	241	172.4	152.4	434	Argilosa
Pátio de Minério	349	224.8	121.4	304	Franco-argiloarenosa

Tabela 1 - Análise granulométrica dos solos das áreas experimentais.

Fonte: O Autor.

3.2 Análises Químicas de Nutrientes e Metais Pesados

As análises foram realizadas para fins de recomendação de adubação e monitoramento dos nutrientes e minerais utilizando-se o procedimento de amostragem conforme recomendação de Prezotti e Guarçoni (2013) para as profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.

As análises químicas para a detecção de metais pesados foram realizadas para chumbo, cádmio, níquel e cromo, elementos químicos presentes nas atividades industriais da ArcelorMittal Tubarão. Entretanto, com o monitoramento e análises realizadas não foi identificada a presença de metais pesados nas áreas experimentais durante todo o período de condução dos experimentos.

4 | ADUBAÇÃO DE PLANTIO E MANUTENÇÃO

Os resultados obtidos por meio das análises de solo foram determinantes para a definição da recomendação de adubação a ser utilizada por ocasião do plantio das espécies avaliadas.

Em todas as áreas experimentais foram aplicados adubos químicos e orgânicos por ocasião do plantio, além da aplicação de calcário para a correção do pH dos solos transpostos. A adubação química de plantio seguiu a recomendação de Prezotti e Guarçoni (2013):

- 100 gramas de calcário dolomítico;
- 200 gramas de superfosfato simples;
- 3 litros de composto orgânico.

As análises foliares serviram de base para a realização da diagnose foliar, com a

identificação dos teores nutricionais das espécies, as quais serão discutidas no Capítulo 7 desta edição, que, juntamente com as análises de solo, subsidiaram a recomendação de adubação de manutenção.

As adubações de manutenção das áreas experimentais, também denominadas adubações de cobertura, foram realizadas em 2013, em três períodos distintos: abril, julho e outubro, utilizando-se o composto nitrato de magnésio, nas quantidades de 10, 15 e 20 gramas, respectivamente. A adubação fosfatada, com 80 gramas de superfosfato simples por metro quadrado, foi realizada em novembro de 2015, em resposta às análises de solos realizadas.

As adubações em cobertura foram realizadas via sistema de fertirrigação, utilizando-se o nitrato de amônia, cloreto de potássio e micronutrientes, segundo a recomendação apresentada na Tabela 2, para os três períodos distintos (jan. a jul., jul. a out., nov. a dez.).

Adubo	Kg/ha/aplicação				
Janeiro a Junho de 2016					
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Nitrato de Amônia	12	-	-	-	12
Cloreto de Potássio	8	-	-	-	8
Micronutrientes	-	-	3	-	-
Julho a Outubro de 2016					
Nitrato de Amônia	6	-	-	-	6
Cloreto de Potássio	3,5	-	-	-	3,5
Micronutrientes	-	-	2	-	-
Novembro de 2016 a Janeiro de 2017					
Nitrato de Amônia	8	-	-	-	8
Cloreto de Potássio	6	-	-	-	6
Micronutrientes	-	-	3	-	-

Tabela 2 - Dosagem de adubos aplicados em três períodos distintos via irrigação.

Fonte: O Autor.

Para o composto de micronutrientes aplicados pelo sistema de fertirrigação, buscou-se englobar todos os micronutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, nas seguintes contrações:

- Boro (B) = 2 a 3%;
- Cobre (Cu) = 3 a 4%;
- Ferro (Fe) = 8 a 10%;
- Manganês (Mn) = 8 a 10%;
- Molibdênio (Mo) = 0,1%;

- Zinco (Zn) = 10%.

5 I ANÁLISE QUÍMICA DOS SOLOS DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

Os resultados das análises químicas dos solos são apresentados na Tabela 3 com destaque para a acidez (pH), Fósforo(P), Potássio (K), Sódio (Na), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio Trocável (Al), Matéria Orgânica (M.O), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t), Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 (T), Soma de Bases (SB), Saturação de Bases (V) e Saturação de alumínio (m) para as camadas 0 a 20 e 20 a 40 cm, na fase de plantio e 30 meses, após o plantio, nas áreas experimentais: Área 1 - condições naturais de Mata Atlântica, Área 2 - Pátio de Carvão e Área 3 - Pátio de Minério.

5.1 Acidez do Solo (pH)

A acidez do solo é considerada um indicador da fertilidade atual do solo não apenas por influenciar na solubilidade e disponibilidade dos nutrientes, mas também por determinar a forma química que os nutrientes e o alumínio se encontram no solo. Em solos ácidos, o alumínio predominante é Al^{3+} , que pode causar danos às raízes por reduzir o crescimento e impedir a formação dos pêlos radiculares, responsáveis pela absorção de água e nutrientes.

A faixa de acidez mais recomendada para a maioria dos cultivos agrícolas e florestais é de 6,0 a 6,5.

Na fase de implantação do experimento, nas condições naturais de Mata Atlântica, na Fazenda Experimental Eng. Reginaldo Conde, o pH foi de 4,8, mostrando uma acidez classificada como média, predominante em solos intemperizados e ácidos, característicos dos solos da região do Bioma Mata Atlântica. Entretanto, após os 30 meses de cultivo, o valor do pH apresentou uma alteração, promovido pela correção da acidez, com a aplicação de calcário, na fase de implantação do experimento, passando de 4,8 para 5,1.

As áreas experimentais do Pátio de Carvão apresentaram valores de pH variando de 7,5 a 7,4, respectivamente, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm por ocasião do plantio e de 7,2 e 7,9 nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40, respectivamente, aos 30 meses após o plantio. No Pátio de Minério, foram verificados valores de pH igual a 8,0 nas duas profundidades avaliadas por ocasião do plantio e também aos 30 meses após o plantio.

Assim, como o pH ficou acima de 7 nas duas áreas experimentais localizadas nos pátios da ArcelorMittal Tubarão, os solos foram classificados como básicos.

Nessas condições de pH básico, não foi observada a presença do Al^{3+} nas Áreas 2 e 3, ao contrário da Área 1 (pH ácido), onde foi verificada a presença do Al^{3+} , o qual pode interferir de forma negativa no crescimento do sistema radicular das espécies cultivadas (Figura 1), como comentado anteriormente.

É importante destacar as diferenças na dinâmica e disponibilidade de nutrientes

em função da acidez do solo. Pela Tabela 3, pode-se verificar que há grande diferença nas características químicas dos solos das Áreas Experimentais 2 e 3 em relação à Área 1, onde predominam solos com características ácidas, ou seja, pH inferior a 7,0 e com presença do Al^{3+} .

5.2 Saturação de Bases (V%)

A saturação de bases (V%) indica a quantidade total de cargas negativas no sistema de trocas do solo ocupadas pelas bases K^+ , Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e está diretamente relacionada com a acidez do solo. Solos ácidos estão associados, normalmente, às baixas saturações de bases, enquanto para os solos classificados como básicos, os valores de saturação de bases aumentam consideravelmente.

A recomendação da calagem para o solo da Área 1, classificado como solo ácido, foi realizada com o objetivo de corrigir a acidez para elevar o pH para a faixa considerada adequada para a maioria dos cultivos agrícolas e florestais (entre 6,0 e 6,5).

É importante destacar que a correção da acidez do solo com a aplicação de calcário foi suficiente para promover a elevação no valor da saturação de base (V%) da Área 1, passando de 19 para 48,1%, com aumento superior a 100%, tanto na profundidade de 0 a 20 quanto a de 20 a 40 cm (Tabela 2). Esses resultados corroboram a importância da correção da acidez do solo e sua influência na disponibilidade dos nutrientes, conforme mostrado na Figura 1.

É importante destacar que a saturação de bases após 30 meses de cultivo ficou próximo do valor recomendado para os cultivos agrícolas e florestais (em torno de 60%).

Os valores de V (%) na Área 1 para as duas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, no plantio e aos 30 meses após o plantio, ficaram abaixo do valor recomendado para a maioria das culturas agrícolas e florestais, que é de 60%, para o Espírito Santo. Embora tenha sido observado baixo valor de V (%) no plantio com 19 e 15%, respectivamente, para as profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, com o uso da calagem, esses valores passaram, respectivamente, para 48,1 e 33,6% após 30 meses de cultivo.

Nas áreas industriais, os valores observados ficaram acima de 60%, ou seja, 92 e 88,3% nas profundidades de 0 a 20 cm, no plantio e 30 meses após o plantio, respectivamente, para o Pátio de Carvão e de 94 para 93,3% nas profundidades de 0 a 20 cm, no plantio e após o período de cultivo (30 meses), respectivamente, para o Pátio de Minério. A elevada saturação de bases é um dos fatores que pode contribuir para a disponibilidade dos nutrientes para as plantas, e dentro desse contexto, as Áreas 2 e 3 (ambientes industriais) apresentam condições mais favoráveis quando comparadas com a Área 1, no ambiente Mata Atlântica, na Fazenda Experimental Eng. Reginaldo Conde.

5.3 CTC

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) é uma das características mais importantes para a avaliação do potencial de troca de cargas e disponibilidade de nutrientes no solo, por indicar a quantidade total de cargas negativas para o processo de troca catiônica.

Com maior quantidade total de cargas negativas, haverá maior retenção de cátions, como cálcio, magnésio, potássio, além de outros nutrientes em menores quantidades, evitando que os mesmos percolem com as águas de drenagem e, ao mesmo tempo, mantendo-os em condições de disponibilidade para as plantas (RAIJ, 1981).

A Capacidade de Troca Catiônica Efetiva – CTC efetiva (t) é o valor de cargas negativas que o solo apresenta nas condições naturais, sem a correção do pH (acidez). Dessa forma, a relação entre a CTC efetiva e a CTC a pH 7,0 é influenciada pela faixa de pH do solo.

A Capacidade de Troca Catiônica - CTC a pH 7,0 (T), no plantio, na área 1 foi de 10,4 e 10,9 cmolc.dm^{-3} , nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, respectivamente, valores esses considerados altos para CTC. De forma semelhante, foi observado na Área 3, no plantio, o valor para a CTC a pH 7,0 (T), nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de 10,6 e 10, o que é considerado alto.

Áreas Experimentais	Período	Profundidade (cm)	pH	Al ³⁺ t (CTC efetiva)		T (CTC a pH 7,0)	SB	M.O. (dag/dm ³)	V %	m
Área 1: Em Condições Naturais de Mata Atlântica	Plantio	0 - 20	4.8	2.1	4.1	10.4	2.0	2.6	19.0	51
		20 - 40	4.9	2.2	3.8	10.9	1.7	2.2	15.0	58
	30 meses após plantio	0 - 20	5.1	0.4	5.2	10.0	4.8	2.8	48.1	8
		20 - 40	5.1	0.4	3.6	9.6	3.2	2.1	33.6	11
Área 2: Pátio de Carvão	Plantio	0 - 20	7.5	0	7.4	8.0	7.4	1.4	92.0	0
		20 - 40	7.4	0	8.5	9.1	8.5	1.7	93.0	0
	30 meses após plantio	0 - 20	7.2	0	8.3	9.4	8.3	2.1	88.3	0
		20 - 40	7.9	0	7.8	8.8	7.8	3.1	88.6	0
Área 3: Pátio de Minério	Plantio	0 - 20	8.0	0	10.0	10.6	10.0	1.7	94.0	0
		20 - 40	8.0	0	9.4	10.0	9.4	1.4	95.0	0
	30 meses após plantio	0 - 20	8.4	0	8.3	8.9	8.3	2.6	93.3	0
		20 - 40	8.4	0	7.9	8.6	7.9	2.4	91.8	0

TABELA 3 - Análises químicas dos solos para acidez (pH), Alumínio Trocável (Al), Matéria Orgânica (M.O), Capacidade de Troca Catiônica Efetiva (t), Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 (T), Soma de Bases (SB), Saturação de Bases (V) e saturação de alumínio (m) nas camadas 0 a 20 e 20 a 40 centímetros, na fase de plantio e 30 meses após o plantio, das áreas experimentais.

Fonte: O Autor.

5.4 Matéria Orgânica (M.O.)

O teor de Matéria Orgânica é um excelente indicador da qualidade do solo, uma vez que a sua interação com o solo influencia diretamente na retenção e infiltração de água, porosidade, formação dos agregados, densidade do solo, pH, capacidade tampão, CTC efetiva e a pH 7,0, atividade microbiana, entre outros (CUNHA; MENDES; GIONGO, 2015).

Outra importante função da matéria orgânica destacada por Raji (1981) é a incorporação de dois elementos químicos essenciais existentes no material de origem ao solo: o carbono e o nitrogênio. O nitrogênio é o nutriente mais importante do ponto de vista quantitativo, o que corrobora com a recomendação do uso da matéria orgânica como fonte desse nutriente. O fósforo e o enxofre são nutrientes também encontrados em importantes proporções na matéria orgânica do solo.

No Gráfico 1, pode-se verificar o teor de matéria orgânica presente nos solos das áreas experimentais por ocasião da implantação do cinturão verde e aos 30 meses após o plantio.

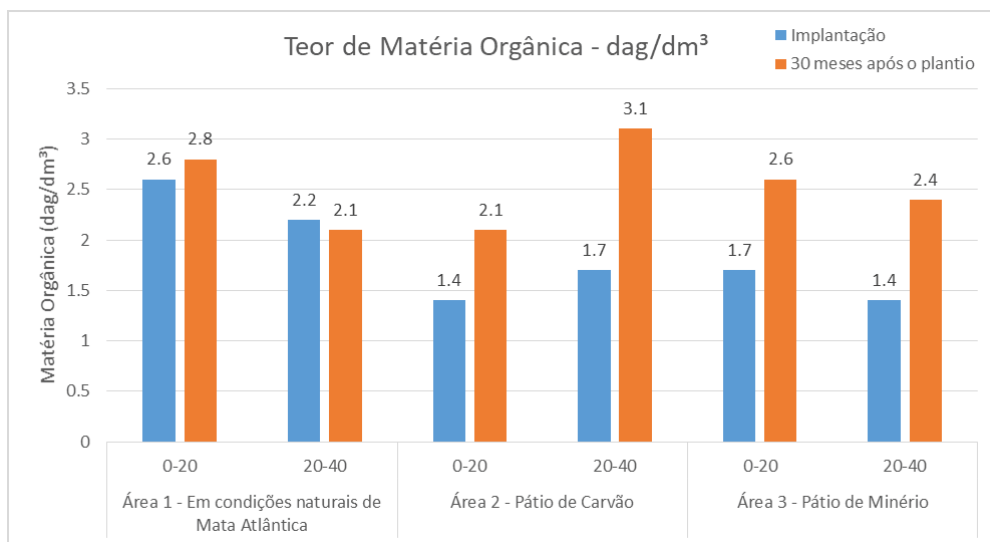


Gráfico 1 - Teor de matéria orgânica das áreas experimentais.

Fonte: O Autor.

A matéria orgânica na Área 1 não sofreu alterações expressivas durante o período avaliado nas duas profundidades de coleta do solo, apresentando valores de 2,6 dag.dm⁻³ para 2,8 dag.dm⁻³, na profundidade de 0 a 20 cm, no plantio, e aos 30 meses após o plantio, respectivamente.

Nas áreas experimentais 2 e 3, localizadas em ambientes industriais, observou-se

uma elevação nos teores de MO considerados baixos, por ocasião da implantação dos experimentos, com valores de 1,4 e 1,7 dag.dm⁻³, na camada de 0 a 20 cm, no Pátio de Carvão (Área 2) e Pátio de Minério (Área 3) para 2,1 e 2,6 dag.dm⁻³ respectivamente, após o período de 30 meses de cultivo. Essa mesma tendência foi observada também para a profundidade de 20 a 40 cm, com os valores de 1,7 e 1,4 dag.dm⁻³ na implantação, para 3,1 e 2,4 dag.dm⁻³, respectivamente, aos 30 meses de cultivo, para os Pátios de Carvão (Área 2) e Pátio de Minério (Área 3).

6 I ANÁLISE DOS MACRONUTRIENTES NO SOLO

Os resultados das análises químicas para os macronutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) para as profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, nos três ambientes, são apresentados na Tabela 4.

Área Experimental	Período	Profundidade (cm)	P	K	Ca ²	Mg ²
			mg/dm ³		cmolc/dm ³	
Área 1- Em condições naturais de Mata Atlântica	Plantio	0 - 20	25	67	1,4	0,4
		20 - 40	26	60	1,1	0,3
	30 meses após o Plantio	0 - 20	30	390	3,0	0,7
		20 - 40	16	35	2,5	0,5
Área 2- Pátio de Carvão	Plantio	0 - 20	22	133	5,5	1,3
		20 - 40	28	219	6,0	1,7
	30 meses após o Plantio	0 - 20	23	63	6,5	1,2
		20 - 40	5	110	6,1	1,0
Área 3- Pátio de Minério	Plantio	0 - 20	5	133	9,0	0,6
		20 - 40	13	121	8,3	0,7
	30 meses após o Plantio	0 - 20	23	40	6,3	1,6
		20 - 40	2	56	6,5	1,0

Tabela 4 - Teores de macronutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) para as profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm nas áreas experimentais.

Fonte: O Autor.

6.1 Fósforo (P)

Os compostos de fósforo (P), além de numerosos, são cruciais para o metabolismo das plantas. O P participa, direta ou indiretamente, dos processos metabólicos das plantas durante todo o seu ciclo de vida. Os ésteres de carboidratos, por exemplo, são produtos intermediários no desdobramento respiratório e na produção fotossintética dos açúcares, elemento fundamental para o desdobramento dos açúcares na respiração (MALAVOLTA, 1976).

Plantas com níveis adequados de P são mais vigorosas e menos suscetíveis às doenças. As membranas celulares de plantas deficientes em P deixam extravasar metabólicos (PREZOTTI et al., 2007), sendo uma porta de entrada para fungos, o que

aumenta a sensibilidade das plantas às doenças fúngicas.

O P no ambiente Mata Atlântica (Área 1) apresentou resultados próximos aos observados no Pátio de Carvão, entretanto os resultados obtidos no ambiente do Pátio de Minério foram considerados inferiores aos demais ambientes.

Esses resultados mostram a importância dos estudos aplicados em diferentes ambientes com condições distintas, explicado, provavelmente, em função da construção dos taludes com solos transpostos de locais externos ao ambiente industrial com baixo teor de fósforo, como foi o caso do solo usado no Pátio de Minério.

O resultado obtido para o P mostrou um aumento aos 30 meses após o plantio, na camada de 0 a 20 cm e apresentou uma redução na camada de 20 a 40 cm, para os três ambientes estudados.

Os teores de P foram considerados altos, maior que 20 mg/dm³, de acordo com o a 5ª aproximação do Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007).

6.2 Potássio (K)

A importância desse macronutriente para as plantas cultivadas é inquestionável. No caso de gramíneas, por exemplo, estimula o desenvolvimento vegetativo e o seu perfilhamento; aumenta o teor de carboidratos, óleos, gorduras e proteínas; promove o armazenamento de açúcar e amido; ajuda a fixação simbiótica de nitrogênio; aumenta a utilização de água, além de aumentar a resistência a secas, geadas, pragas e doenças (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Os resultados da análise química do solo para o Potássio (K) foram maiores nos ambientes industriais quando comparados com os solos do ambiente da Mata Atlântica.

Os resultados foram classificados como altos no ambiente da Mata Atlântica, maior que 150 mg/dm³ e médios nos ambientes industriais, entre 60 e 150 mg/dm³.

O maior teor observado no ambiente Mata Atlântica está em função das características naturais deste solo, enquanto nos ambientes do Pátio de Carvão e Pátio de Minério, os solos transpostos para a construção dos taludes possuíam teores de K mais baixos.

6.3 Cálcio (Ca)

O cálcio (Ca) é um nutriente importante para estimular o desenvolvimento das raízes e está diretamente envolvido na severidade de diversas doenças fúngicas, sendo considerado um elemento essencial para a constituição e estabilidade das paredes celulares e membranas plasmáticas. Muitos fungos penetram no tecido através da produção extracelular de enzimas pectolíticas, cuja atividade é inibida por esse nutriente (PREZOTTI et al., 2007).

Os resultados da análise química do solo para o Ca foram maiores nos ambientes

industriais em função da correção da acidez, quando comparado com o ambiente da Mata Atlântica, que apresentam solos com características ácidas.

Os teores de Ca foram classificados como médio no ambiente Mata Atlântica (1,5 a 4,0 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) e alto ($> 4,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) nos ambientes industriais do Pátio de Carvão e Pátio de Minério, na profundidade de 0 a 20 cm, aos 30 meses após o plantio na profundidade 0 a 20 cm (PREZOTTI et al., 2007).

6.4 Magnésio (Mg)

A interferência de um nutriente na absorção de outro foi destacada por Malavolta (1976). A absorção do Mg sofre interferência direta da presença de K na solução do solo ou no substrato. Assim, a absorção do Mg, entre outros fatores, depende do nível do K. Se a proporção K/Mg no meio for alta, diminui a absorção do Mg de tal modo que a planta poderá apresentar sintomas de deficiência desse elemento.

Os resultados da análise química do solo para o Mg mostraram valores superiores nos ambientes industriais, enquanto no ambiente da Mata Atlântica os valores foram classificados como baixo a médio (0,5 a 1,0 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$). Os valores para os ambientes industriais foram classificados como médio a alto ($> 1,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$).

A análise conjunta para os macronutrientes P, K, Ca e Mg permite classificá-los de acordo com Prezotti et al. (2007) em médio a alto nos ambientes industriais e baixo no ambiente Mata Atlântica. Embora o valor observado no ambiente Mata Atlântica tenha sido considerado baixo apenas para o Mg e médio a alto para o P, K e Ca, esses valores não foram limitantes quer seja por deficiência, quer seja por excesso de macronutrientes.

7 | ANÁLISE DOS MICRONUTRIENTES NO SOLO

Os resultados das análises químicas para os micronutrientes boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn), para as profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, nos solos dos três ambientes, são apresentados na Tabela 5.

Área Experimental	Período	Profundidade (cm)	B	Zn	Cu	Fe	Mn
			mg/dm ³				
Área 1 - Em condições de Mata Atlântica	Plantio	0 - 20	0,11	1,6	3,4	147	15
		20 - 40	0,20	1,4	3,2	122	8,8
	30 meses após o	0 - 20	0,63	1,8	2,8	158	52
		20 - 40	0,60	1,1	2,2	149	21
Área 2 - Pátio de Carvão	Plantio	0 - 20	0,22	7,3	1,2	464	142
		20 - 40	0,41	10,0	1,3	454	168
	30 meses após o	0 - 20	0,63	8,3	1,2	413	308
		20 - 40	0,31	8,9	0,9	243	205
Área 3 - Pátio de Minério	Plantio	0 - 20	0,47	11,0	0,7	263	227
		20 - 40	0,31	10,0	1,1	356	189
	30 meses após o	0 - 20	0,93	5,7	0,2	38	216
		20 - 40	0,35	3,9	0,2	22	77

Tabela 5 - Teores de micronutrientes, boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe) e manganês (Mn), para as profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm no ambiente Mata Atlântica e nos ambientes industriais (Pátio de Carvão e Pátio de Minério).

Fonte: O Autor.

7.1 Boro (B)

A disponibilidade B está diretamente ligada ao teor de matéria orgânica, considerada a principal fonte desse elemento, o qual é liberado para a planta durante o processo de mineralização. A matéria orgânica, ao se mineralizar sob a ação dos micro-organismos do solo, libera Nitrogênio (N), Enxofre (S) e Boro (B), que podem ser absorvidos pela planta. Se o pH for muito baixo (alta acidez), a atividade microbiana é diminuída, o que reduz o fornecimento desses elementos. Se o pH estiver muito alto, consequência de calagem excessiva, por exemplo, o boro entra em combinação com as argilas e com a própria matéria orgânica, reduzindo a disponibilidade (MALAVOLTA, 1986).

A deficiência hídrica também pode acentuar os sintomas de carência de B, pois a falta de água reduz a atividade e a presença dos micro-organismos responsáveis pela mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, sua disponibilidade na solução do solo. Assim, a absorção desse micronutriente pela raiz também é reduzida. O excesso de chuva ou de irrigação pode também provocar a lavagem do B, com seu deslocamento para fora de alcance das raízes.

Os resultados da análise química do solo para o B foram classificados como médio, variando entre 0,35 e 0,90 mg/dm³ para os três ambientes: Mata Atlântica (Área 1), Pátio de Carvão (Área 2) e Pátio de Minério (Área 3).

7.2 Zinco (Zn)

O zinco (Zn) exerce ação protetora contra o ataque de radicais livres do oxigênio e tem importante papel na permeabilidade e manutenção da integridade das membranas

plasmáticas, evitando o vazamento de solutos orgânicos das células (PREZOTTI et al., 2007).

O Zn é também necessário para a formação de auxina (Ácido Indolacético - AIA), que tem papel fundamental para o crescimento das plantas. Plantas deficientes em Zn, como por exemplo o Eucalipto, apresentam encurtamento dos internódios, folhas amareladas entre as nervuras e lanceoladas, secamento dos ponteiros e roseta na ponta dos ramos (MALAVOLTA, 1986).

Pelos resultados da análise química do solo, os substratos apresentaram altos teores de Zn ($> 2,2 \text{ mg/dm}^3$) para os ambientes industriais de carvão e de minério e foram classificados como médio (variando entre $1,0$ a $2,2 \text{ mg/dm}^3$) no ambiente da Mata Atlântica.

7.3 Cobre (Cu)

O Cobre (Cu) participa de diversos processos fisiológicos, tais como: fotossíntese, respiração, distribuição de carboidratos, redução e fixação de nitrogênio, além do metabolismo de proteínas e formação da parede celular. Esse micronutriente também é importante para os mecanismos de resistência a doenças, sendo necessário um suprimento adequado de cobre (FERREIRA; CRUZ, 1991) para minimizar a incidência de doenças fúngicas.

Os resultados da análise química do solo para o Cu, foram classificados como alto ($> 1,8 \text{ mg/dm}^3$) para o ambiente Mata Atlântica e médio (variando entre $0,8$ a $1,8 \text{ mg/dm}^3$) para os ambientes industriais do Pátio de Carvão e Pátio de Minério.

7.4 Ferro (Fe)

O Ferro (Fe) funciona especificamente na ativação de vários sistemas de enzimas, tais como a catálise (responsável pela decomposição do peróxido de hidrogênio em oxigênio e água) e as oxidases (catalisa uma reação de oxidação/redução envolvendo oxigênio molecular, reduzindo-o à água ou a peróxido de hidrogênio) e também entra na composição das ferredoxinas: proteínas ferro-enxofre que intermedeiam a transferência de elétrons num grande número de reações metabólicas (CAMARGO, 1975).

A deficiência deste micronutriente perturba o mecanismo da formação da clorofila. Há correlação entre o conteúdo clorofílico das folhas e o seu teor de Fe. Por isso, o sintoma típico de deficiência do micronutriente é a falta de produção de clorofila nas folhas novas, resultando em identificação de sintomas visuais de deficiência, primeiramente nas folhas mais novas, podendo se estender às folhas maduras quando a deficiência é muito intensa.

Os resultados da análise química do solo para o Fe foram classificados como alto ($>45 \text{ mg/dm}^3$) para os três ambientes: Mata Atlântica, Pátio de Carvão e Pátio de Minério, por ocasião do plantio.

Esse resultado se manteve aos 30 meses após o plantio, para o ambiente Mata

Atlântica e Pátio de Carvão. Somente para o Pátio de Minério, o Fe foi classificado como médio (variando entre 20 e 45 mg/dm³).

Assim, de forma geral, pode-se considerar que o teor de Fe não apresentou diferenças entre os ambientes, destacando que os ambientes industriais apresentaram valores semelhantes aos ambientes da Mata Atlântica.

7.5 Manganês (Mn)

O Mn, um dos micronutrientes mais abundantes na litosfera, atua principalmente nos processos bioquímicos de oxidação-redução nos vegetais. No solo encontra-se na estrutura dos minerais, na forma trocável, na solução e complexado pelos compostos orgânicos. O equilíbrio dinâmico entre os compostos presentes em uma dessas quatro formas é principalmente influenciado pelo pH e pelas condições de oxidação-redução no solo. Esse equilíbrio no solo também pode ser afetado pela atividade microbiana e pelo teor de matéria orgânica. Assim qualquer mudança no ambiente que afete sensivelmente um desses fatores influenciará na disponibilidade do micronutriente (FERREIRA; CRUZ, 1991).

Como o Mn ativa diversas e numerosas enzimas, a sua deficiência provoca muitos desarranjos metabólicos. A fotossíntese é diminuída, uma vez que o Mn participa da formação da clorofila e da formação, multiplicação e funcionamento dos cloroplastos (MALAVOLTA, 1976).

Os resultados da análise química do solo para o Mn foram classificados como altos (>12 mg/dm³) para os três ambientes: Mata Atlântica, Pátio de Carvão e Pátio de Minério.

A análise conjunta para os micronutrientes Boro, Zinco, Cobre, Ferro e Manganês destaca que eles não foram limitantes, quer seja por deficiência, quer seja por excesso nos ambientes da Mata Atlântica, Pátio de Carvão e Pátio de Minério estudados, sendo classificados como teores médios a altos, com base na classificação da 5ª aproximação do Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007).

8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O valor observado para o ferro no talude do Pátio de Minério foi superior na implantação, atingindo valor de 356 mg/dm³ na profundidade 20 a 40 cm, e na avaliação aos 30 meses após o plantio, esses valores decresceram para 22 mg/dm³, indicando a influência do Cinturão Verde na redução do arraste e deposição de particulados ricos em ferro no ambiente industrial.

O pH das áreas experimentais em ambientes industriais na ArcelorMittal Tubarão tem a tendência a ser básico, tornando-se mais básico ao longo do tempo, sendo interessante a aplicação de adubos ácidos para contribuir com a redução do pH.

A saturação de bases extremamente alta nas áreas experimentais em ambiente industrial na ArcelorMittal Tubarão ocorreu provavelmente devido ao pH mais básico. Esse fato pode prejudicar a disponibilidade de alguns nutrientes e auxiliar a disponibilidade de outros.

Mesmo o Ferro no solo sendo classificado como alto nos ambientes industriais, não causou prejuízo ao crescimento e desenvolvimento das plantas, provavelmente em função da baixa acidez do solo nesses ambientes. Com pH básico, o Ferro torna-se pouco disponível para as plantas.

O pH do solo, de maneira geral, ficou na faixa adequada para a maioria dos nutrientes, entre 6,0 e 6,5, faixa essa que reduz a disponibilidade do alumínio trocável (tóxico) e mantém a maioria dos nutrientes em disponibilidade satisfatória, o que favorece o crescimento e desenvolvimento das diferentes espécies agrônômicas e florestais.

A evolução da matéria orgânica no solo das áreas industriais ao longo dos estudos foi superior aos valores observados na área em condições de Mata Atlântica.

Pela análise conjunta para os macronutrientes P, K, Ca e Mg, observou-se que os mesmos não foram limitantes, quer seja por deficiência, quer seja por excesso, nas condições experimentais, para os três ambientes estudados.

Pela análise conjunta para os micronutrientes B, Zn, Cu, Fe e Mn, observou-se também que os mesmos não foram limitantes, quer seja por deficiência, quer seja por excesso, nas condições experimentais para os três ambientes estudados, sendo os teores classificados como médio a alto.

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.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. In: NUNES, R.; REZENDE, M. O. O. (org.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Editora Cubo, 2015. p. 273 - 290.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola**. São Paulo – SP: Ceres, 1976. 100 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.

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. **Avaliação da Fertilidade do solo.** Piracicaba – SP: Instituto da Potassa e Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1981, 142 p.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solos para fins de fertilidade.** Campinas: IAC, 1983. 31p. (IAC. Boletim Técnico, 81).

TOMÉ JUNIOR, J. B. **Manual para interpretação de Análise de solo.** Guaíba – RS: Agropecuária, 1997, 247 p.

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

