

# 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)



**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](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## 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>

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>162</b>
<b>SOBRE OS AUTORES .....</b>	<b>163</b>

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

*Data de aceite: 08/02/2022*

**Diolina Moura Silva**

**Thaís Araujo dos Santos**

**Xismênia Soares Silva Gasparini**

**Pedro Mazzocco Pereira**

### 1 | INTRODUÇÃO

A fotossíntese é um processo físico e bioquímico, fonte primária de compostos para a manutenção, crescimento e desenvolvimento dos organismos vegetais. Por meio dela, as plantas produzem os esqueletos carbônicos que dão início a diversas reações e tomam forma em diversas estruturas. Esse processo também é bastante conhecido por sofrer constantes modificações, a fim de manter sua funcionalidade frente às condições adversas do ambiente (vento, chuva, temperatura, luz). O estudo da fotossíntese (cinética da fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas) há décadas faz-se muito importante por possibilitar, de forma relativamente rápida e não destrutiva, a obtenção e a análise do comportamento vegetal diante das variações ambientais.

Nesse contexto, as plantas cultivadas nos cinturões verdes em ambientes siderúrgicos, além de serem capazes de suportar as variações nas condições ambientais naturais, precisam

também se adaptar aos poluentes particulados (carvão e minério de ferro), que podem se depositar sobre suas folhas e prejudicar, de forma direta, a captação de luz pelo aparato fotossintético, acarretando em prejuízos para o metabolismo, crescimento e desenvolvimento. Essas partículas podem ainda causar danos indiretamente ao serem absorvidas, causando intoxicação.

A investigação acerca do comportamento fisiológico dessas espécies e suas respostas às condições do ambiente são de suma importância, uma vez que os dados coletados poderão auxiliar nas tomadas de decisões quanto ao manejo dessas plantas e indicar com maior confiança aquelas que possuem ou não potencial para tolerar, crescer e desenvolver-se nas condições a que foram expostas.

Para tanto, foram avaliadas as variáveis fisiológicas relacionadas às trocas gasosas, assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, índice de clorofila total e cinética da fluorescência da clorofila *a* dessas espécies em duas condições ambientais distintas (Pátio de Carvão e Pátio de Minério), observando-se as diferenças no aproveitamento dos recursos do ambiente.

Neste capítulo são apresentados os resultados de avaliação dos parâmetros fisiológicos das espécies implantadas como quebra-ventos nas áreas experimentais da ArcelorMittal Tubarão, utilizando-se como

base de comparação o desenvolvimento dessas espécies em condições de talhão de reflorestamento sem a presença de atividade siderúrgica na Fazenda Experimental Engenheiro Reginaldo Conde, ambiente de Mata Atlântica, localizada no município de Viana - ES, seguindo a metodologia apresentada no Capítulo 5 deste livro.

## 2 I AVALIAÇÕES DA EFICIÊNCIA FOTOSINTÉTICA

As alterações da luminosidade no ambiente de cultivo proporcionam ajustes do aparelho fotossintético das plantas, os quais resultam na maior eficiência na absorção e transferência de energia para os processos fotossintéticos. Nesse contexto, os teores de pigmentos cloroplásticos, clorofila e carotenoides podem ser utilizados como importantes marcadores de ambientação do vegetal.

A verificação das trocas gasosas também se constitui como uma importante ferramenta na determinação de adaptação e estabilidade de plantas a determinados ecossistemas, uma vez que a redução do crescimento das plantas pode estar relacionada à redução da atividade fotossintética, limitadas por fatores abióticos intrínsecos ao local de cultivo (PAIVA et al., 2005).

Assim, a avaliação dos teores de pigmentos fotossintéticos, da cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a*, das trocas gasosas e assimilação de CO<sub>2</sub> é apresentada a seguir.

### 2.1 Teores de Pigmentos Fotossintéticos

As variações no índice de clorofila observadas nas plantas jovens durante a primeira medida (julho/2013) já mostravam diferentes níveis de tolerância aos particulados depositados na superfície das folhas (Gráfico 1).



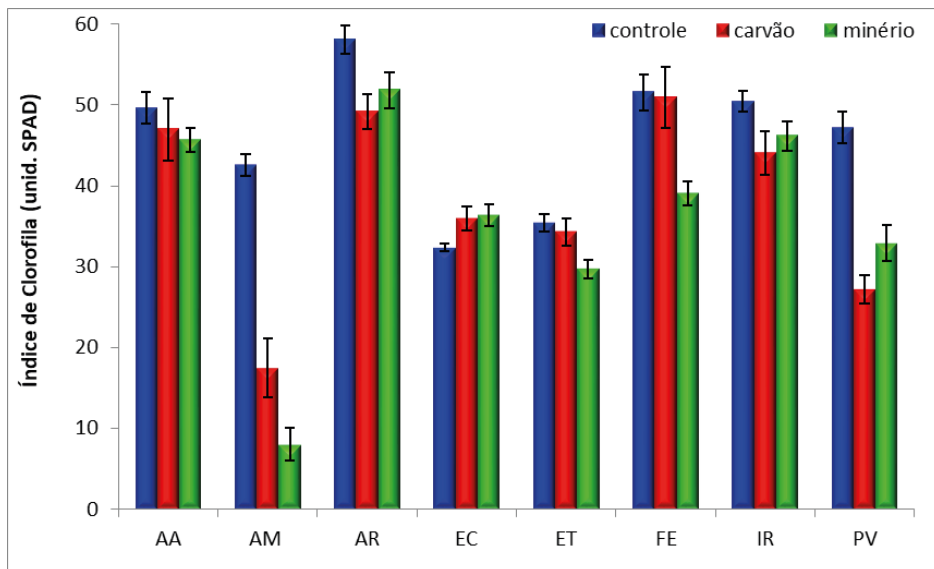


Gráfico 1 - Índice de clorofila de folhas totalmente expandidas de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. (AA) - *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (FE) *Senna macranthera*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (PV) *Bauhinia forficata*. Barras representam o erro padrão da média de 50 medidas.

Fonte: O Autor.

Durante os dois anos de estudo, ocorreram mudanças contínuas neste índice em cada uma das oito espécies. Comparando-se os teores de clorofila total entre o primeiro e o segundo ano de crescimento, destacam-se as espécies com maior e menor tolerância ao resíduo sólido depositado sobre as folhas (Gráfico 2).

Observa-se que as plantas de *Acacia mangium*, *Senna macranthera* e *Bauhinia forficata* foram aquelas que mais se destacaram quanto à sensibilidade aos particulados. *Bauhinia forficata* e *Senna macranthera* também mostraram menores índices de clorofila total tanto no primeiro, quanto no segundo ano de avaliação.

Quando se compara os locais de estocagem e obtém-se as porcentagens dos teores de clorofila (Tabela 1), é possível afirmar que dentre as oito espécies submetidas aos resíduos da estocagem *Acacia mangium* é uma espécie sensível tanto aos resíduos de minério, quanto aos resíduos de carvão. Por outro lado, as plantas de *Acacia auriculiformis* tiveram desempenho bem evidente de tolerância ao estresse ambiental. Os índices de clorofila obtidos nas plantas de *Acacia auriculiformis* aumentaram em cerca de 20% a 40% nos pátios analisados.

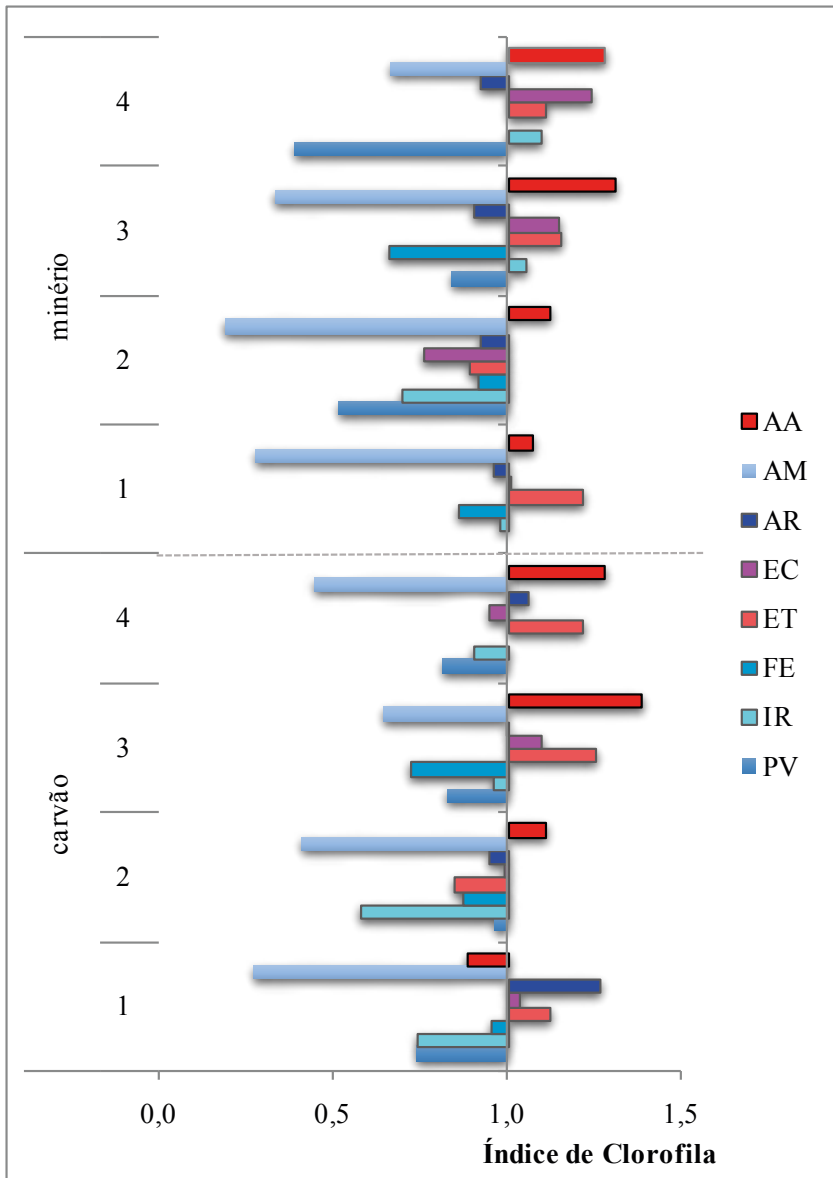


Gráfico 2 - Índice de clorofila obtido em folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas, no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. 1=jul/2013; 2=nov/2013; 3=mai/2014; 4=ago/2014. (AA) *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (FE) *Senna macranthera*; (PV) *Bauhinia forficata*. (n=10).

Fonte: O Autor.

Nota-se também que as plantas de *Corymbia toleriana* e *Corymbia citriodora* possuem um bom mecanismo de tolerância ao estresse causado pelos particulados advindos do carvão e do minério, pois seus índices de clorofila aumentaram em cerca de 15% em

ambos os locais em *C. toleriana* e 2,5% em *C. citriodora*. O comportamento destas duas espécies face ao acúmulo de resíduos na superfície foliar foi de plantas bem tolerantes ao sombreamento (MERCÊS et al., 2013). Portanto, o gênero *Corymbia* se destaca para ser utilizado para compor um cinturão verde.

Sigla	Nome Científico	Contr.	mai/13		ago/13		mai/14		ago/14	
			Carvão	Minério	Carvão	Minério	Carvão	Minério	Carvão	Minério
AA	<i>Acacia auriculiformis</i>	100	-11,85	7,34	10,97	12,36	39,07	33,99	19,88	23,06
AM	<i>Acacia mangium</i>	100	-72,70	-72,35	-58,95	-81,17	-27,91	-67,23	-62,31	-47,79
AR	<i>Schinus terebinthifolius</i>	100	26,37	-4,10	-5,30	-7,92	3,54	-7,09	14,73	-6,28
EC	<i>Corymbia citriodora</i>	100	3,65	0,70	-1,11	-24,11	8,14	12,36	-1,49	22,79
ET	<i>Corymbia torelliana</i>	100	12,23	21,37	-15,30	-10,70	27,38	20,36	33,42	29,02
FE	<i>Senna macranthera</i>	100	-25,64	-2,29	-42,39	-30,25	-20,09	-35,85	-	-
IR	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	100	-4,74	-14,02	-12,76	-8,50	-6,22	7,90	-32,18	-5,81
PV	<i>Bauhinia forficata</i>	100	-26,10	-48,73	-3,19	-16,12	-17,37	-59,36	-5,83	-

Tabela 1 – Porcentagem do índice de clorofila (unid. SPAD) obtida em folhas de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle = 100%) comparada com o índice das plantas cultivadas no Pátio Carvão e no Pátio de Minério. (n = 10).

Fonte: O Autor.

Chapman et al. (2013) chamam a atenção sobre uma espécie muito comum em regiões da Escócia, onde a acidez do solo alcança pH de 3,0, que possui relativa tolerância a concentrações elevadas de metais (Zn e Pb), porém alteram a biossíntese de clorofila e outros parâmetros fisiológicos, como o conteúdo de ácidos orgânicos (cítrico e málico), ácido abscísico (ABA) e o potencial da água. Neste estudo, a primeira avaliação do conteúdo de elementos minerais nas folhas revelou elevada concentração de Zn e Fe, dois micronutrientes que podem provocar alterações fisiológicas, tais como aquelas observadas no conteúdo de clorofila das espécies *Acácia mangium*, *Senna macranthera* e *Bauhinia forficata* cujo índice diminuiu 67%, 17% e 31%, respectivamente, no pátio de estocagem de minério e 55%, 22% e 13% no pátio de estocagem de carvão.

## 2.2 Cinética da Emissão da Fluorescência da Clorofila a

A emissão da fluorescência da clorofila a foi estimada nas mesmas folhas onde foram analisados os teores de clorofila total, utilizando-se um fluorômetro portátil (HandyPEA, Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK). Todas as leituras foram realizadas após a aclimatização das amostras em escuro por, no mínimo, 45 minutos. As medidas de fluorescência transiente foram obtidas até 1s com taxa de aquisição de dados de 105 pontos por segundo para os primeiros 2 $\mu$ s, e de 1.000 pontos por segundo depois de 2 ms.

A emissão de fluorescência da clorofila foi induzida em uma área de 4 mm de diâmetro da folha, pela exposição da amostra a um pico de luz vermelha de 3.000  $\mu$ mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. As intensidades de fluorescência a 20, 100, 300  $\mu$ s e 2 e 30 ms foram registradas como F1, F2, F3, F4 e F5 respectivamente (STRASSER; STRASSER, 1995). A fluorescência inicial

( $F_0$ ) foi considerada como sendo o nível de fluorescência no tempo de 20  $\mu$ s, sendo que  $F_0$  é a intensidade de fluorescência em que todos os centros de reação (RC) do Fotossistema 2 (FS II) estão abertos.

A intensidade de fluorescência máxima ( $F_M$ ), que é obtida quando os centros de reação do FS II estão fechados, também foi determinada após o pulso saturante. Foi medido também o tempo para atingir a fluorescência máxima ( $t_{FM}$ ) e a área acima da curva de fluorescência entre  $F_0$  e  $F_M$ , que é proporcional ao tamanho do pool de aceptores de elétrons, Quinona A ( $Q_A$ ), do lado redutor do FS II. Obtidas as intensidades de fluorescência, foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo teste JIP, baseados na Teoria de Fluxo de Energia em Biomembranas (STRASSER, 2004) e escolhidos para demonstrar o transporte de elétrons na etapa fotoquímica da fotossíntese, conforme Strasser et al. (2010).

A ação negativa dos poluentes ambientais sobre a fotossíntese tem sido discutida há bastante tempo (LIGHTY et al., 2000; SOLOMON; SIOUTAS, 2008; DARESTA et al., 2015), principalmente os efeitos negativos que a camada de poluentes depositados sobre as folhas exerce na biossíntese de pigmentos fotossintéticos, nas trocas gasosas e na absorção da luz pelos fotossistemas, alterando a atividade enzimática, isto é, comprometendo os processos fotoquímicos e bioquímicos da fotossíntese.

A curva de indução de fluorescência da clorofila *a* mostra um aumento inicial rápido na etapa O-P, que pode variar de um a vários segundos, dependendo da intensidade da luz actínica, e uma subsequente redução dos fotossistemas (FS). Sob alta intensidade de luz actínica contínua (acima de 200  $W/m^2$ ), o aumento da fluorescência apresenta geralmente as etapas J (a 2 ms) e I (a cerca de 20 - 30 ms) entre o ponto O inicial ( $F_0$ ) e o ponto máximo P ( $F_M$ ), desenhando uma curva O-J-I-P (STRASSER et al., 2004).

Na Gráfico 3, são apresentadas, como exemplos bem representativos, as curvas OJIP obtidas nas plantas de duas espécies da Mata Atlântica, avaliadas neste projeto: *Senna macranthera* (FE) e *Bauhinia forficatal* (PV). Após dupla normalização, obtiveram-se as curvas das diferenças cinéticas entre os dois locais de estocagem e as plantas tomadas como controle em ambiente Mata Atlântica. Essas diferenças demonstram bom aproveitamento da energia radiante quando negativas; porém, quando positivas, demonstram uma ineficiência do aparato fotossintético na captura e aproveitamento da energia radiante. Este dano pode ser causado por fotoinibição ou por outros fatores de estresse, tais como altas temperaturas, estresse hídrico ou toxicidade de elementos minerais (MANCILLA-LEYTÓN et al., 2013; XIANG et al., 2013).

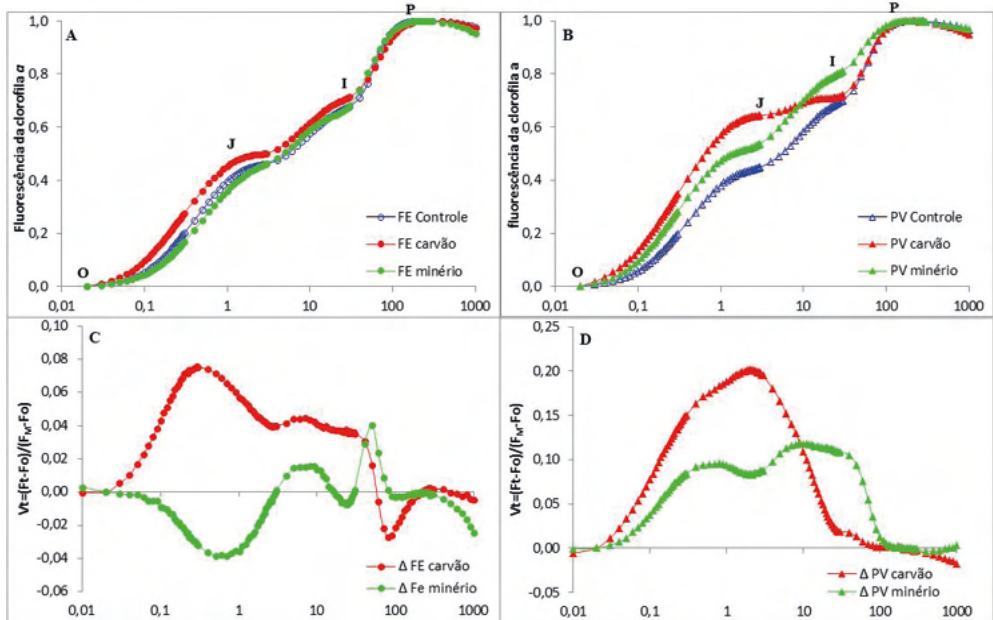


Gráfico 3 - Cinética da fluorescência da clorofila a O-J-I-P obtida pela equação  $[V_t = (F_t - F_0) / (F_M - F_0)]$  e diferença cinética ( $\Delta Vt$ ) de folhas totalmente expandidas de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio Carvão e no Pátio de Minério. A média do controle de cada espécie foi utilizada para normalizar as curvas. O tempo de um segundo está representado em escala logarítmica (ms). (FE) *Senna macranthera*; (PV) *Bauhinia forficata*. (n=20).

Fonte: O Autor.

A curva negativa encontrada nas plantas de *Senna macranthera* crescendo próximo ao Pátio de Carvão na etapa O-J demonstra que a energia radiante está sendo capturada pelos centros de reação do FSII e conduzida para além da quinona A reduzida ( $Q_A^-$ ) até os aceptores de elétrons do intersistema. Porém, a curva positiva no passo I-P, ainda no Pátio de Carvão, chama a atenção para uma deficiência relacionada à transferência de elétrons da Ferredoxina até os aceptores finais de elétrons do Fotossistema I (FSI) (CHEN et al., 2012).

Em *Bauhinia forficata*, foram observadas curvas positivas entre as etapas O-J e J-I. Estes passos referem-se à rápida acumulação de  $Q_A^-$ , que ocorre pela interrupção do fluxo de elétrons até  $Q_A$  (oxidada), fase J, o que impede a transferência de elétrons para o intersistema e, conseqüentemente, para o FSI (fase I).

Ao longo dos dois anos, pôde-se observar as variações e tendências de maior ou menor sensibilidade à presença de resíduos de carvão e minério. A variação dos transientes OJIP evidenciou as diferenças de sensibilidade entre as espécies florestais avaliadas.

A representação das curvas OJIP demonstra claramente o quanto esses resíduos afetaram o processo de absorção e aproveitamento da energia luminosa em cada uma das

oito espécies analisadas (Gráfico 4).

Somente em *Acacia auriculiformis* houve diferenças negativas na fluorescência variável relativa ( $\Delta V_{OP}$ ), enquanto em todas as outras espécies avaliadas  $\Delta V_{OP}$  apresentou-se positiva, evidenciando forte inibição na transferência de elétrons excitados para os receptores finais de elétrons no FSI.

A fluorescência rápida da clorofila *a* é rica em informações e pode ser utilizada para obter muitos parâmetros do chamado teste JIP, que podem ser utilizados para quantificar o comportamento/atividade dos FSII e FSI (STRASSER et al., 2004; TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2013).

É bem conhecido que, em condições de estresse de luz, por exemplo, as plantas têm geralmente menores dimensões da antena do FSII. Por outro lado, em condições de pouca luz, em um ambiente sombreado, as plantas têm maior tamanho da antena do FSII (LICHTENTHALER, 1987).

Nesse ponto, os resultados confirmam aqueles encontrados por Zivcak et al. (2014), que observaram alterações na quantidade de proteínas das antenas periféricas do FSII (as principais proteínas das antenas periféricas) em resposta às condições de baixa luminosidade.

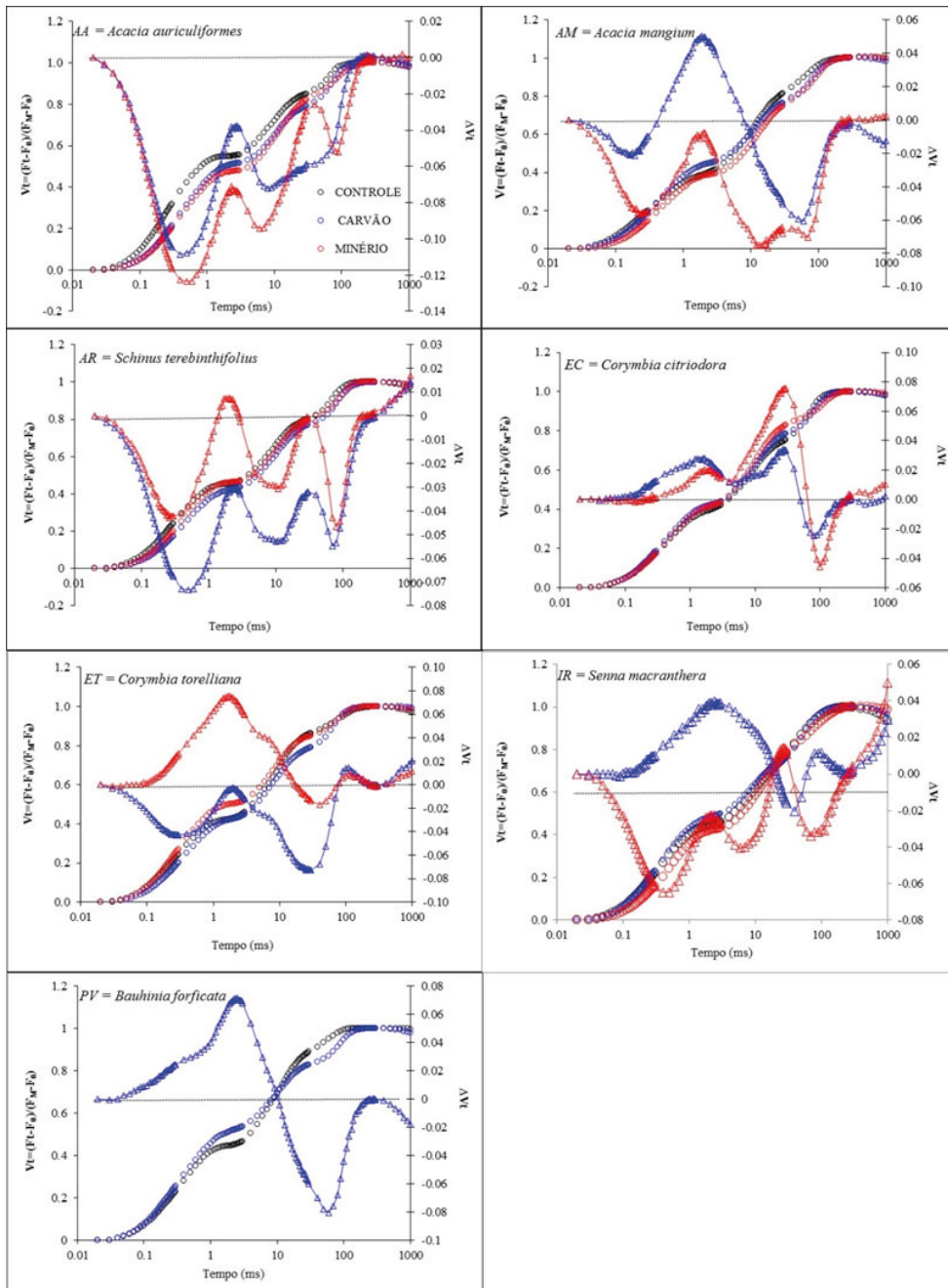


Gráfico 4 - Fluorescência variável relativa obtida como  $V_{OP} = [F_t - F_0] / [F_M - F_0]$  e a diferença cinética da fluorescência variável obtida como  $\Delta V_{OP} = V_{OP}[\text{pátio}] - V_{OP}[\text{referência}]$  das folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. Dados normalizados tomando-se o controle como referência (= 1). O tempo de um segundo está representado em escala logarítmica (ms). (n=10).

Fonte: O Autor.

O Gráfico 5 representa a área acima da curva OJIP, que demonstra a efetividade na absorção da energia luminosa (TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008) e o desempenho total efetivo das reações de óxido-redução no instante das medidas ( $PI_{inst}$ ).

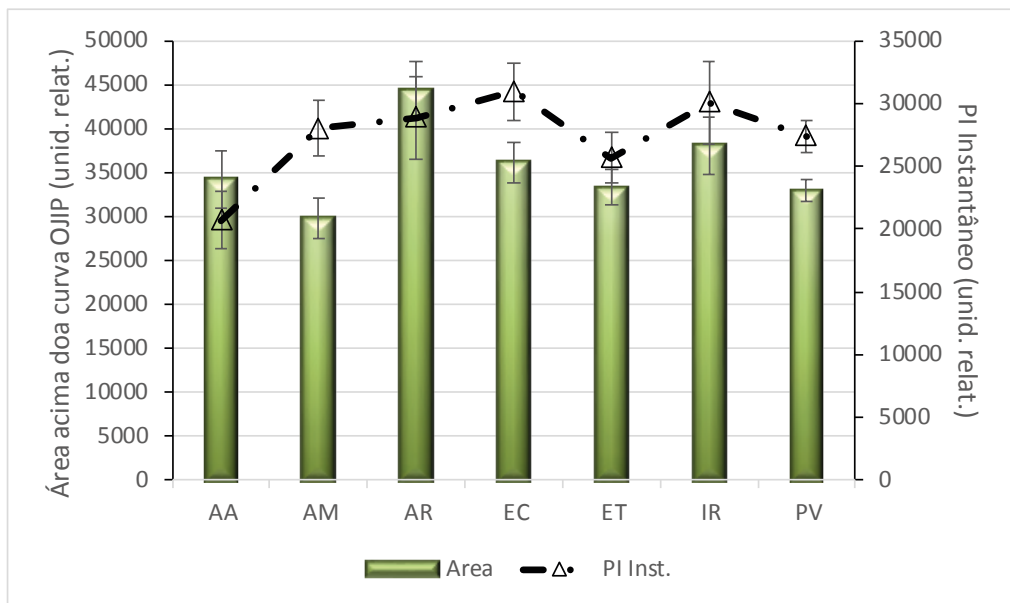


Gráfico 5 – Parâmetros do teste JIP representando a efetividade na absorção da energia luminosa (área da curva OJIP) e o desempenho total efetivo das reações de óxido-redução no instante das medidas ( $PI_{inst}$ ) das folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. (AA) *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (FE) *Senna macranthera*; (PV) *Bauhinia forficata*. (n=50).

Fonte: O Autor.

É fato bem comprovado que na fotossíntese os pigmentos localizados nos cloroplastos da folha absorvem a radiação solar e, através da transferência energética, a excitação resultante é canalizada para os centros de reação. Estes, então ativados, liberam os elétrons para iniciar o processo fotoquímico (HALLIK et al., 2012). As plantas *Corymbia toleriana* e *C. citriodora* apresentaram os maiores índices de clorofila quando comparadas com as plantas das outras espécies deste trabalho e, realmente, as plantas das outras espécies, tanto no pátio de carvão quanto no pátio de minério, foram as que apresentaram melhor desempenho do FSII e do FSI. Porém esses teores de clorofila na planta não podem ser relacionados ao seu desempenho fotoquímico, uma vez que o tamanho da antena (ABS/RC) é uma determinante mais importante da intensidade de fluorescência máxima do que o conteúdo de clorofila na folha (DINÇ et al., 2012).

Somam-se a esses resultados os valores de  $F_0$ . A fluorescência inicial é considerada



como referência para a distribuição inicial de energia e a eficiência de excitação capturada no FSII. O valor de  $F_0$  aumenta quando o número de clorofilas funcionais, não ligadas aos RCs do FSII, aumenta. Assim, um aumento da  $F_0$  pode ser interpretado como uma separação física do núcleo dos complexos coletores de luz (LHCII) do FSII, gerando um dano irreversível a este fotossistema (ČAJÁNEK et al., 1998).

### 3 I TROCAS GASOSAS E ASSIMILAÇÃO LÍQUIDA DO CO<sub>2</sub>

Parâmetros da fotossíntese foram determinados nas mesmas folhas onde foram estimados os teores de clorofila total e a cinética da emissão da fluorescência transiente OJIP, utilizando-se um analisador de gás por infravermelho, portátil, (IRGA, modelo LCI SD, ADC BioScientific Ltd., England), a saber: assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ao vapor d'água ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), concentração intercelular de CO<sub>2</sub> ( $C_p$ ,  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), temperatura foliar ( $T_p$ , °C) e a diferença de vapor entre a folha e o ar ( $DPV_{\text{folha-ar}}$ , KPa). A partir destas variáveis, foram calculadas a eficiência instantânea de carboxilação ( $A/C_p$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ ) e as eficiências de uso da água:  $A/E$  ( $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ ) e  $A/g_s$  ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ), sendo esta última denominada eficiência intrínseca do uso da água por considerar o mecanismo estomático (MARTINS et al., 2014).

A ação negativa dos poluentes ambientais sobre a fotossíntese tem sido discutida há bastante tempo (LIGHTY et al., 2000; SOLOMON; SIOUTAS, 2008; DARESTA et al., 2015), principalmente os efeitos negativos que a camada de poluentes depositados sobre as folhas exercem na biossíntese de pigmentos fotossintéticos, nas trocas gasosas e na absorção da luz pelos fotossistemas, alterando a atividade enzimática, isto é, comprometendo os processos fotoquímicos e bioquímicos da fotossíntese.

Considerando-se cada espécie avaliada de forma independente, na terceira medida (maio/2014), observou-se que a magnitude da assimilação líquida de CO<sub>2</sub> ( $A$ ) foi similar ao controle nas plantas de *Handroanthus heptaphyllus* e *Senna macranthera*, cultivadas no pátio de carvão, e *Acacia mangium*, no Pátio de Minério (Gráfico 6).

Observa-se que os menores valores de taxa de assimilação líquida de carbono e condutância estomática foram observados em *Acacia auriculiformis*, *Acacia mangium* e *Bauhinia forficata*, no Pátio de Carvão, e em *Acacia auriculiformis*, *Corymbia citriodora*, *Senna macranthera* e *Bauhinia forficata*, no pátio de minério. Esses dados são confirmados pelos resultados obtidos da taxa de Carbono interno ( $C_i$ ), mostrando a pequena utilização do CO<sub>2</sub> por essas plantas. Também se observou que a taxa de perda de vapor d'água ( $E$ ) confirma os efeitos negativos sugeridos por Solomon e Sioutas (2008) e Daresta et al. (2015).

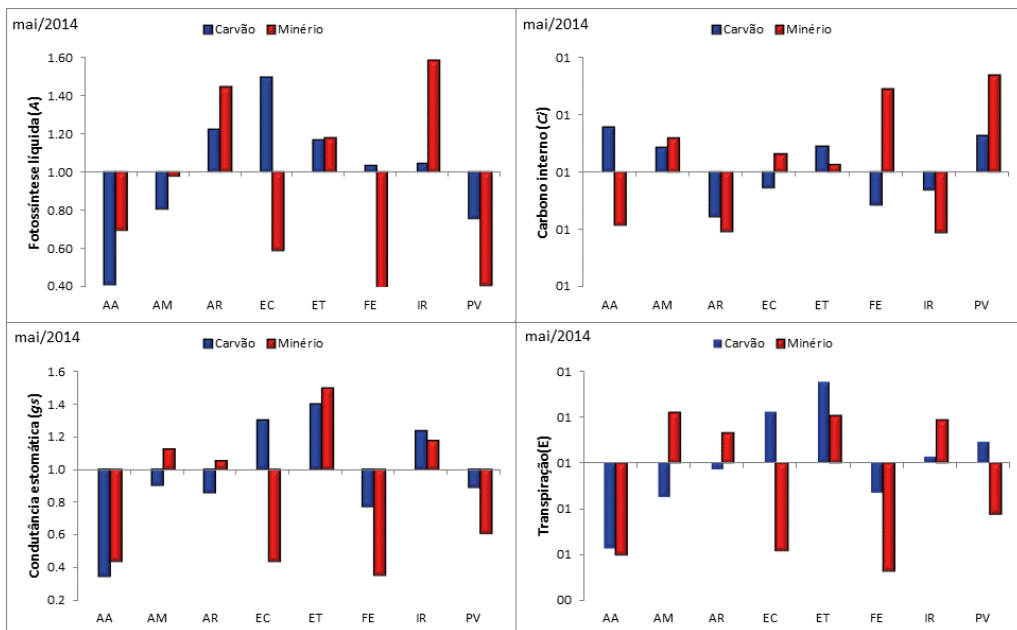


Gráfico 6 - Taxa de assimilação líquida de carbono ( $A$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e da transpiração ( $E$ ) obtido em folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. Dados normalizados tomando-se o controle igual à unidade. (AA) *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (FE) *Senna macranthera*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (PV) *Bauhinia forficata*. (n=10).

Fonte: O Autor.

Para a realização da quarta medida, foram feitas análises nas folhas com os particulados depositados (aqui identificados como Folha Não Lavada) e após limpeza das folhas (Folha Lavada). A alteração na metodologia se justifica pelas dúvidas surgidas no primeiro ano de medidas, uma vez que os efeitos negativos dos particulados são sentidos através da deposição sobre a biomassa acima do solo, ou seja, a penetração da superfície foliar, ou indiretamente, através da interação solo-raiz (ŽALUD et al., 2012). Como as plantas em ambiente Mata Atlântica foram tomadas como controle, a confirmação de que folhas sem os resíduos depositados, mas cultivadas no ambiente contendo carvão e minério no solo, poderiam resultar em um desempenho diferenciado daqueles do controle.

Na Gráfico 7, os dados obtidos na taxa de assimilação líquida de carbono ( $A$ ) e na concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C$ ) nas folhas sujas (FS) e folhas limpas (FL) são apresentados, e nenhuma diferença significativa entre FS e FL para cada espécie foi encontrada.

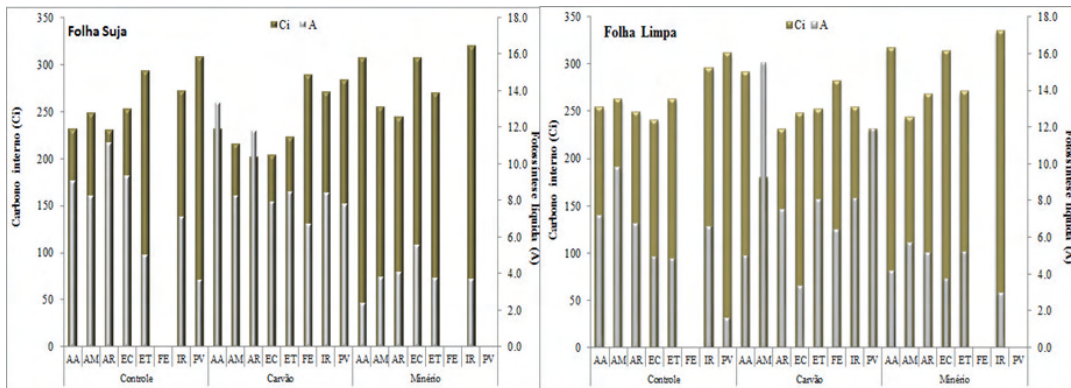


Gráfico 7 - Concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) e taxa de assimilação líquida de carbono ( $A$ ) obtidas em folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. (AA) *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (FE) *Senna macranthera*; (PV) *Bauhinia forficata*. Folha suja = folhas contendo todo o material particulado em sua superfície; Folha limpa = folhas lavadas com água destilada antes das medidas serem realizadas. (n=10).

Fonte: O Autor.

O Gráfico 8 evidencia os resultados observados após as folhas terem sido limpas na hora das medidas. Pode-se perceber, portanto, que os particulados (carvão e minério) provocaram a degradação dos pigmentos, resultando em queda acentuada das taxas de assimilação líquida de carbono, queda na condutância estomática e aumento na razão entre a concentração interna e ambiente de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$ ) nas plantas de *Acacia auriculiformis*, *Handroanthus heptaphyllus* e *Bauhinia forficata*.

A eficácia com que as plantas balanceiam as trocas gasosas é comumente dada pela eficiência no uso da água (EUA), definida como a quantidade de carbono fixado pela fotossíntese por unidade de água perdida na transpiração (LAWSON; BLATT, 2014). Geralmente, valores maiores de EUA são observados em plantas com menores valores de condutância estomática. No entanto, essas plantas apresentam baixa taxa fotossintética líquida e menor taxa de crescimento. Por outro lado, plantas com valores maiores de condutância estomática apresentam maior assimilação de  $\text{CO}_2$  e crescimento acelerado, mas possuem baixa EUA (Lawson; Blatt, 2014).

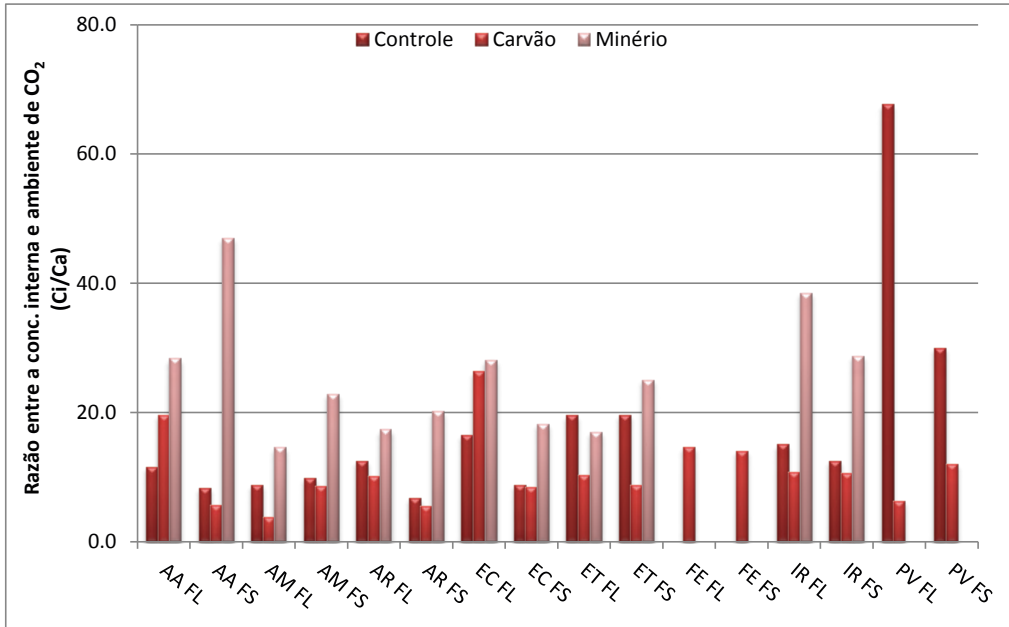


Gráfico 8 - Razão entre a concentração interna e ambiente de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>) obtida em folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. (AA) *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (FE) *Senna macranthera*; (PV) *Bauhinia forficata*. (FS) = Folha suja, isto é, folhas contendo todo o material particulado em sua superfície; (FL) = Folha limpa, isto é, folhas lavadas com água destilada antes de as medidas serem realizadas. (n=10).

Fonte: O Autor.

As medidas realizadas durante o ano de 2014 mostram que folhas menores são mais adequadas para dissipar o excesso de energia, principalmente em condições de limitação hídrica, pois permitem maiores taxas de troca de calor sensível, podendo refrigerar-se mais eficientemente, sem que isso ocorra às expensas de taxas elevadas de transpiração. O influxo de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, na medida em que o estômato permanece mais aberto, não é acompanhado direta e efetivamente por perda de vapor d'água, em face da contribuição da resistência do ar sobrepujar-se àquela da resistência do estômato. Isto deve contribuir para otimizar a utilização da água pela planta (maior eficiência do uso da água).

Como evidenciado pelos valores contidos na Gráfico 9, *Acacia auriculiformis* e *Bauhinia forficata* mostraram consistentemente maior A/E a longo prazo nas folhas isentas dos particulados na superfície foliar. Além disso, ambos os procedimentos durante as análises (folha lavada e folha contendo os particulados) evidenciaram os efeitos dos resíduos de carvão e minério, provocando a queda de taxa de assimilação líquida de carbono e o acúmulo de CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares.

Devido ao curto período de tempo de obtenção dos dados (dezoito meses), ainda é incipiente concluir quanto à eficiência do uso da água ( $A/E$ ), ou seja, se foram as mudanças na condutância estomática ( $g_s$ ) que provocaram as alterações na transpiração ( $E$ ) ou o comprometimento das taxas de assimilação líquida de carbono ( $A$ ).

No entanto, os resultados estão em conformidade com aqueles obtidos por Caliskan (2013). O autor encontrou em genótipos cultivados no campo próximo a rodovias maior  $A/E$  sob irrigação plena, porém esses genótipos apresentaram sintomas fisiológicos mais rapidamente quando houve limitação da água no solo, indicando, assim, que a  $A/E$  de plantas sob estresse ambiental pode ser utilizado como indicador de genótipos com maior tolerância ao estresse.

Esses resultados não representam uma resposta conclusiva sobre a utilidade de  $A/E$  como uma ferramenta para a classificação de espécies florestais tolerantes ao estresse por particulados em relação ao uso da água, necessitando, portanto, de novos estudos para comprovação.

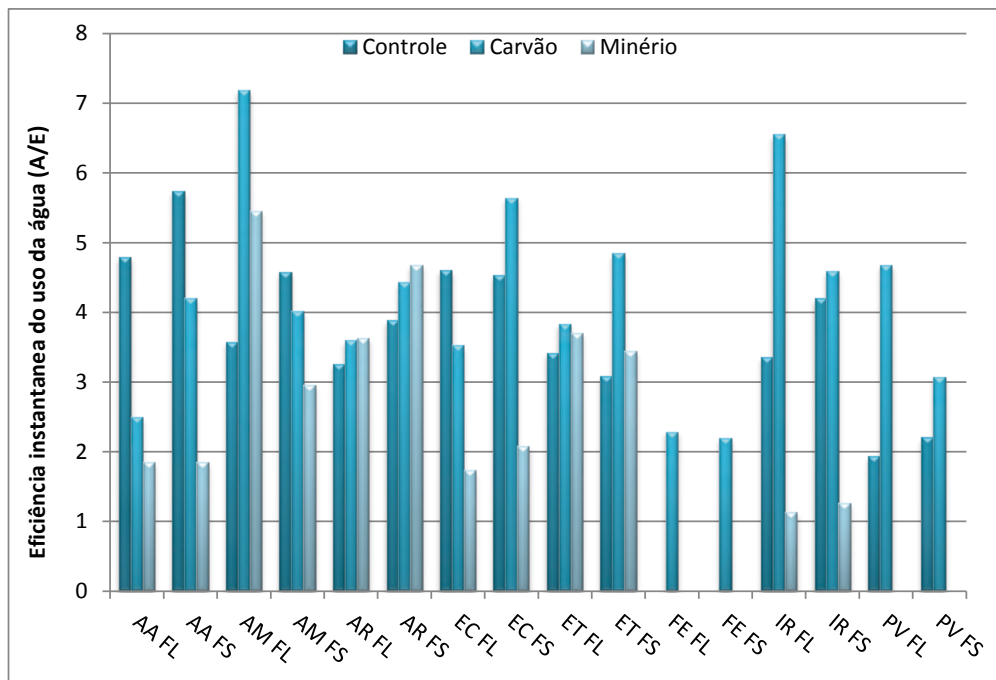


Gráfico 9 - Eficiência instantânea do uso da água ( $A/E$ ) obtida em folhas jovens, totalmente expandidas, de plantas cultivadas em ambiente Mata Atlântica (controle), no Pátio de Carvão e no Pátio de Minério. (AA) *Acacia auriculiformis*; (AM) *Acacia mangium*; (AR) *Schinus terebinthifolius*; (EC) *Corymbia citriodora*; (ET) *Corymbia torelliana*; (IR) *Handroanthus heptaphyllus*; (FE) *Senna macranthera*; (PV) *Bauhinia forficata*. (FS) = Folha suja, isto é, folhas contendo todo o material particulado em sua superfície; (FL) = Folha limpa, isto é, folhas lavadas com água destilada antes de as medidas serem realizadas. (n=10).

Fonte: O Autor.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A alta taxa de mortalidade observada aos 30 meses após o plantio para a espécie *Bauhinia forficata* pode estar associada ao fato de terem apresentado os menores valores de Taxa de Assimilação Líquida de Carbono ( $A$ ) e de Condutância Estomática ( $g_s$ ) em ambos os pátios, até os 16 meses após o plantio, o que comprometeu o desenvolvimento, não sendo recomendada para uso em quebra-ventos em ambientes siderúrgicos.

As plantas de *Acacia auriculiformes* apresentaram baixos valores de Taxa de Assimilação Líquida de Carbono ( $A$ ) e de Condutância Estomática ( $g_s$ ) nos Pátios de Carvão e de Minério. Isso corrobora os resultados das análises dendrométricas, que mostraram um desenvolvimento insatisfatório da *Acacia auriculiformes* em ambos os pátios industriais.

As espécies *Senna macranthera* e *Handroanthus heptaphylla* no Pátio de Carvão e *Acacia mangium* no Pátio de Minério, por ocasião da avaliação fotossintética, apresentaram valores de trocas gasosas similares ao controle em ambiente de Mata Atlântica. Entretanto apresentaram, posteriormente, alta mortalidade e baixos valores quanto às características dendrométricas, não sendo recomendadas para o Cinturão Verde.

As avaliações dendrométricas reforçam os resultados supracitados obtidos nas análises fisiológicas das espécies do gênero *Corymbia* em seu estágio inicial de crescimento e desenvolvimento. As plantas de *C. toleriana* e *C. citriodora* mostraram um comportamento de plantas de sombra com maiores índices de clorofila e maior eficiência fotoquímica tanto no Pátio de Minério, quanto no Pátio de Carvão.

## REFERÊNCIAS

- ČAJÁNEK, M., ŠTROCH, M., LACHETOVÁ, I., KALINA, J., SPUNDA, V. Characterization of the photosystem II inactivation of heat-stressed barley leaves as monitored by the various parameters of chlorophyll a fluorescence and delayed fluorescence. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, v. 47, p. 39 - 45, 1998.
- CALISKAN, E. Environmental impacts of forest road construction on mountainous terrain. **Iranian Journal of Environmental Health Sciences & Engineering**, v. 10, p. 23 - 30, 2013.
- CASSOL, D., SILVA F. S. P., FALQUETO, A. R., BACARIN, M. A. An evaluation of nondestructive methods to estimate total chlorophyll content. **Photosynthetica**, v. 46, n.4, p. 634 - 636, 2008.
- CHAPMAN, E. E. V. A., DAVE, G. A., MURIMBOH, J. D. B. A review of metal (Pb and Zn) sensitive and pH tolerant bioassay organisms for risk screening of metal-contaminated acidic soils. **Environmental Pollution**, v. 179, p. 326 - 342, 2013.
- CHEN, S., ZHOU, F., YIN, C., STRASSER, R. J., YANG, C., QIANG, S. Application of fast chlorophyll a fluorescence kinetics to probe action target of 3-acetyl-5-isopropyltetramic acid. **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, p. 269 - 279, 2011.
- DARESTA, B. E., ITALIANO, F., GENNARO, G., TROTTA, M., TUTINO, M., VERONICO, P. Atmospheric particulate matter (PM) effect on the growth of *Solanum lycopersicum* cv. Roma plants. **Chemosphere**, v. 119, p. 37 - 42, 2015.

- ENCINAS, I. J., SILVA, G. F., TICCHETTI, I. **Comunicações técnicas florestais: Variáveis dendrométricas**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, v. 4, n. 1, p. 102, 2002.
- GOMES, A. M. de A. **Medição de arvoredos**. Lisboa: Sá da Costa, p. 413, 1957.
- HALLIK, L., NIINEMETS, U., KULL, O. Photosynthetic acclimation to light in woody and herbaceous species: a comparison of leaf structure, pigment content and chlorophyll fluorescence characteristics measured in the field. **Plant Biology**, v. 14, p. 88 - 99, 2012.
- LAWSON, T., BLATT, M. R. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. **Plant Physiology**, v. 164, n. 4, p. 1556 - 1570, 2014.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymology**, v. 148, p. 350 - 382, 1987.
- LIGHTY, J. S., VERANTH, J. M., SAROFIM, A. F. Combustion aerosols: factors governing their size and composition and implications to human health. **Journal Air Waste Manage**, v. 50, p. 1565 - 1618, 2000.
- MANCILLA-LEYTÓN, J. M., CAMBROLLÉ, J., FIGUEROA, M. E., VICENTE, A. M. Growth and survival of cork oak (*Quercus suber*) seedlings after simulated partial cotyledon consumption under different soil nutrient contents. **Plant Soil**, v. 370, p. 381 - 392, 2013.
- MARTINS, S. C. V., GALMÉS, J. G., CAVATTE, P. C., PEREIRA, L. F., VENTRELLA, M. C., DAMATTA, F. M. Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis. **PLoS ONE**, v. 9, e95571, 2014.
- MERCÊS, D. A., PINHEIRO, M. P., OLIVEIRA FILHO, J. A., FRANÇA, S., GOMES, F. P., FIASCHI, P., MIELKE, M. S. Sobrevivência de plântulas, características fotossintéticas e crescimento de *Discocarpus pedicellatus* (Phyllanthaceae). **Rodriguésia**, v. 64, n. 1, 2013.
- MILANO, M. S., DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000
- PAIVA, A.S. et al. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 161 - 169, 2005.
- SOLOMON, P.A., SIOUTAS, C. Continuous and semicontinuous monitoring techniques for particulate matter mass and chemical components: a synthesis of findings from EPA's particulate matter supersites program and related studies. **Journal Air Waste Manage**, v. 58, p. 164 - 195, 2008.
- STRASSER, B. J., STRASSER, R. J., Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP-test, in: P. MATHIS (Ed.), **Photosynthesis: from Light to Biosphere**, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, p. 977 - 980, 1995.
- STRASSER, A., TSIMILLI-MICHAEL, M., SRIVASTAVA, A. Analysis of the fluorescence transient In: PAPAGEORGIOU, G. C., GOVINDJEE (eds.), **Chlorophyll fluorescence: A signature of photosynthesis**. Advances in Photosynthesis and Respiration Series. Springer: Dordrecht, p. 321 - 362, 2004.
- STRASSER, R.J., TSIMILLI-MICHAEL, M., QIANG, S., GOLTSEV, V. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, p. 1313 - 1326, 2010.

TSIMILLI-MICHAEL, M., STRASSER, R.J. In vivo assessment of plants' vitality: applications in detecting and evaluating the impact of Mycorrhization on host plants. In:VARMA A, editor. **Mycorrhiza: state of the art, genetics and molecular biology, ecofunction, biotechnology, eco-physiology, structure and systematics**. Dordrecht: Springer; p. 679 - 703, 2008.

TSIMILLI-MICHAEL, M., STRASSER, R.J. The energy flux theory 35 years later: formulations and applications. **Photosynth Research**, DOI 10.1007/s11120-013-9895-1, 2013.

XIANG, M, CHEN, S., WANG, L., DONG, Z., HUANG, J., ZHANG, Y., STRASSER, R. J. Effect of vulculic acid produced by *Nimbya alternantherae* on the photosynthetic apparatus of *Alternanthera philoxeroides*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 65, p. 81 - 88, 2013.

ŽALUD, P., SZÁKOVÁ, J., SYŠALOVÁ, J., TLUSTOŠ, P. Factors influencing uptake of contaminated particulate matter in leafy vegetables. **Cent. Eur. J. Biol.**, v. 7, p. 519 - 530, 2012.

ZIVCAK, M., BRESTIC, M., KALAJI, H. M., GOVINDJEE. Photosynthetic responses of sun- and shade-grown barley leaves to high light: is the lower PSII connectivity in shade leaves associated with protection against excess of light? **Photosynthesis Research**, v. 119, p. 339 - 354, 2014.



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



# Cinturão Verde:

## Sustentabilidade e contribuição no setor de produção de aço

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

