

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THAÍS ALVES PEREIRA GONÇALVES

DIFERENCIAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE ESPÉCIES NATIVAS E DE
EUCALIPTO COMO SUBSÍDIO PARA A FISCALIZAÇÃO

CURITIBA
2016

THÁIS ALVES PEREIRA GONÇALVES

DIFERENCIAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE ESPÉCIES NATIVAS E DE
EUCALIPTO COMO SUBSÍDIO PARA A FISCALIZAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal, Área de Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Graciela Inés Bolzon de Muñiz
Coorientadores: Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin
Prof.^a Dr.^a Silvana Nisgoski

CURITIBA
2016

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Gonçalves, Thaís Alves Pereira

Diferenciação do carvão vegetal de espécies nativas e de eucalipto como subsídio para a fiscalização / Thaís Alves Pereira Gonçalves. – Curitiba, 2016. 107 f. : il.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Graciela Ines Bolzon de Muniz

Coorientadores: Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin

Prof.^a Dr.^a Silvana Nisgoski

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 26/02/2016.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Carvão vegetal. 2. Monitoramento ambiental 3. Teses. I. Muniz, Graciela I. B. de. II. Ballarin, Adriano Wagner. III. Nisgoski, Silvana. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.867.5

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Tese de Doutorado de **THAIS ALVES PEREIRA GONÇALVES**, intitulada: "**DIFERENCIAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE ESPÉCIES NATIVAS E DE EUCALIPTO COMO SUBSÍDIO PARA A FISCALIZAÇÃO**", após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

Curitiba, 26 de Fevereiro de 2016.



Prof GRACIELA INES BOLZON DE MUNIZ (UFPR)
(Presidente da Banca Examinadora)

Prof ANA MARIA ISABEL GIMENEZ (UNSE)



Prof CLÁUDIA FRANCA BARROS (JBRJ)



Prof MARTHA ANDREIA BRAND (UDESC)



Prof PATRÍCIA PÓVOA DE MATTOS (EMBRAPA)



BIOGRAFIA DA AUTORA

Thaís A. P. Gonçalves nasceu em 17 de março de 1982 na Ilha do Governador - Rio de Janeiro. Concluiu sua graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) no ano de 2006. É Mestre em Ciência Florestal pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus Botucatu, onde recebeu bolsa pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, Proc. 2008/02558-0). Desenvolveu sua dissertação intitulada “Anatomia do lenho e do carvão de espécies arbóreas do Cerrado no Estado de São Paulo, Brasil” sob orientação da Dr.^a Carmen Regina Marcati e coorientação da Prof.^a Dr.^a Rita Scheel-Ybert. Iniciou seus estudos em anatomia da madeira em 2001 sob a orientação do Prof. Dr. João V. F. Latorraca; e em anatomia de carvão vegetal (antracologia) em 2003 sob a orientação da Prof.^a Dr.^a Rita Scheel-Ybert. Ao longo de sua carreira acadêmica: (i) participou/participa de vários projetos de pesquisa; (ii) foi bolsista de iniciação científica (IC) durante 3 anos consecutivos pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); (iii) trabalhou caracterização anatômica do lenho e do carvão de diversas famílias botânicas; (iv) recebeu a Menção Honrosa pelo trabalho de IC na XXVIII Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica da UFRJ (Fórum de Ciência e Cultura) no ano de 2006; (v) ministrou diversas aulas para turmas de Engenharia Florestal, Engenharia Industrial Madeireira, Luteria e Biologia; (vi) ministrou vários cursos de anatomia da madeira e carvão vegetal; (vii) prestou consultorias em identificação de carvão para diversos fiscais ambientais; (viii) trabalhou na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável – “Rio+20”... Tem interesse especial em Conservação da Natureza, Tecnologia da Madeira e de Produtos Florestais.

DEDICATÓRIA

A ideia dessa tese surgiu em 2004. Foi durante uma noite “virada” no alojamento masculino da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no quarto dos irmãos Ademi e Raimundo, também acadêmicos de Engenharia Florestal... Foi a 1ª vez que conheci alguém que, aos 13 anos de idade, foi submetido ao trabalho análogo à escravidão numa das várias carvoarias no interior de Campestre do Maranhão (MA) que supria as siderúrgicas. Isto ocorreu devido às condições de extrema pobreza dos pais analfabetos e por ser o irmão mais velho de 8 filhos. Durante os dois anos de trabalho na carvoaria as crianças e os adultos trabalhavam da mesma forma; as crianças não estudavam; não havia energia elétrica nem banheiros tão pouco água potável; a alimentação era precária, feita pelos próprios carvoeiros que comiam sentados no chão já que o alojamento não tinha cadeiras nem mesa; os trabalhadores dormiam em barracas feitas de lona e abertas, mas muitas noites foram dormidas ao lado dos fornos, devido ao frio e necessidade de observar a fumaça do processo de carbonização; todas as espécies utilizadas eram nativas e nenhum processo manejo florestal era empregado... Embora isso tenha acontecido em 1990-2, essa realidade continua se repetindo até hoje em inúmeras carvoarias clandestinas e poucos conseguem escapar dela. Mesmo que de maneira indireta, todos nós estamos envolvidos. Aqueles que puderem contribuir de alguma forma para amenizar com as ilegalidades do setor são sempre muito bem-vindos.

Dedico esse trabalho ao Meu Querido Amigo,
Eng.º Florestal Ademi Moraes Lima.

OFEREÇO

A todos aqueles que trabalham com fiscalização de carvão vegetal. Que essa tese possa ser uma ferramenta útil e facilite o desenvolvimento de outros trabalhos.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

A Universidade Federal do Paraná (UFPR).

A Prof.^a Dr.^a Graciela Inés Bolzon de Muñiz (UFPR) por ter me escolhido para ser sua orientada, por toda a sua dedicação, todo o exemplo que você tem sido durante esses anos e especialmente pela Liberdade.

Ao Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin (UNESP/FCA) por todo o amparo desde o meu mestrado, pelo seu exemplo tanto moral e ético quanto profissional e pessoal.

A Prof.^a Dr.^a Silvana Nisgoski (UFPR) pela orientação e, acima de tudo, Amizade e Carinho que fizeram todo o diferencial durante esse processo.

Aos Secretários da Pós-Graduação, Reinaldo Mendes de Souza e David Teixeira de Araújo por sempre terem me ajudado.

A Prof.^a Dr.^a Claudia Franca Barros (JBRJ) pelas inúmeras contribuições desde a graduação e por ter aceitado novamente a me avaliar.

A Prof.^a Dr.^a Martha Andreia Brand (UDESC) por todo o aprendizado, oportunidades e ter me recebido sempre muito bem em Santa Catarina.

A Prof.^a Dr.^a Ana María Giménez (FSC-UNSE) por todo o carinho, conversas e avaliação prévia da tese.

A Prof.^a Dr.^a Patricia Povia de Mattos (EMBRAPA-Florestas) pela serenidade, revisão minuciosa da tese e inspiração para aprimorar a minha redação científica.

A Prof.^a Dr.^a Viecky Moglia (FSC-UNSE) por suas importantes sugestões na pré-defesa.

Ao Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos (UFPR) por ter aceitado avaliar.

A Prof.^a Dr.^a Sandra Monteiro Borges Florsheim e ao Prof. Dr. Eduardo Luiz Longui por terem me recebido muito bem no Instituto Florestal do Estado de São Paulo e terem me cedido as amostras de carvão vegetal.

A Polícia Federal do Rio Grande do Sul por doarem as amostras de carvão vegetal.

A Prema Tecnologia e Comércio S.A. (Rio Claro, SP) por gentilmente ter cedido às amostras de *Corymbia* spp. e *Eucalyptus* spp.

A Prof.^a Dr.^a Carmen R. Marcati (UNESP/FCA) pela amizade e continuidade do nosso trabalho.

A Prof.^a Dr.^a Julia Sonsin (UnB) pela Amizade e excelente parceria profissional.

Ao Prof. Dr. Heber dos Santos Abreu (UFRRJ, *in memoriam*) pela orientação, valores e inspiração.

Ao Prof. Dr. Alex Wiedenhoeft (FPL/USDA) por todo o ensinamento.

Aos Prof.s Dr.s da UFPR Antônio Carlos Batista, Franklin Galvão, Yoshiko Saito Kuniyoshi, Carlos Vellozo Roderjan, Carlos Roberto Sanquetta, Alexandre França Tetto, Ivan Venson, Leif Nutto e Setsuo Iwakiri por todo aprendizado.

A técnica de laboratório Liliane Pereira (UNESP/FCA) por sempre ter me ajudado.

Aos Profissionais da Rede Sul Florestal pela incrível receptividade, pela honra de fazer parte do grupo e o prazer de ministrar o curso de identificação de carvão vegetal em Florianópolis.

A acadêmica de Engenharia Florestal Rafaela Schöeder Amaral (UDESC) pela receptividade e todo o auxílio durante o minicurso de identificação de carvão vegetal em Lages (SC). Aos acadêmicos envolvidos, em especial a Anderson C. Ohrt e Suzana de Carli.

A receptividade e convívio com os profissionais da UNIVATES, especialmente para o Prof. Dr. André Jasper; Prof.^a Dr.^a Neli Teresinha Galarce Machado; MSc. Isa Carla Osterkamp – pela Amizade e por ter me recebido tão bem na sua casa; Dr.^a Marjorie Kauffmann; MSc. Mariela Inês Secchi – graças a você, conheci todos; à acadêmica Thaís Z. Laux e aos membros do Laboratório do Setor de Botânica e Paleobotânica.

Ao MSc. Cláudio Manuel Ismael Afonso pela Amizade, parceria profissional e toda cultura da Pérola do Índico.

A MSc Carolina Griebeler e sua mãe Marilene G. de Oliveira pela Amizade e companheirismo.

Ao MSc. Ramiro Faria França pela Parceria, excelentes viagens e toda contribuição. A adorável Eng.^a Florestal Tati Ho por todo o carinho e deliciosas trufas.

Ao MSc. Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori pela Parceria, auxílios e orientações.

Aos graduandos, pós-graduandos e a técnica Eliane Lopes da Silva do laboratório do Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira (LANAQM).

A todos pós-graduandos da UFPR que eu tive o prazer de conviver.

A Primeira Turma de Luteria da UFPR, por vocês terem colaborado muito com as minhas aulas e pelas amizades que ficaram. A todas as turmas que eu tive o prazer de dar aulas.

Aquelas pessoas tão especiais que fizeram o diferencial nesses 4 anos, mas não estiveram envolvidas diretamente com a tese: Tia Lúcia (*in memoriam*), Junior, Cristiano, Tio Albertini; Tia Zequinha, Laila, Henrique, Tio Igomer; Carlos Guedes; Nahami Silva Lima Borba; Monique Costa e Vinicius Fontes; Luis Barros; Marcus Bacellar, Yanne e Vinícius F. Marques; Francieli Waligura; Vanessa Raposo e Jorginho Destez; A Musa Grazy Brugner, Brunninho Pereira, Dayane Bonnatti, Michelle Folador, Nanna Ajzentel, Audry Ribierski...; Família do Tigre (Markinho Hourneaux, Claudinha Arioli, Bruninha Tibes, Gilsinho Anjos, Família Scremin.....e todos aqueles que eu tive o prazer de conviver); Fernando Lucas e Alexandra Abreu; Richards Satillan; Flavio de Paula; Rossalyn Hoyos Gutierrez; Lou Lou; Rafaela Freitas; Rafaela Prosdocini e Ale; Cristine G. Donha; Santiago Velasco e Natália Bedrij; Rafael L. Braz; Rodrigo Mineiro e Isa; “JJs” - Brows Luiz Calixto e Ju Zamboni, Cyn Ito e Huguinho Roberto, Thiago Splatter, Dani Zerbini e Will, Iron Junior, Rodrigo Madeira, Grace Kelly, Virgílio Gatto, Rodrigo Franco, Cristiano Batata Krhääx...; “Compatriotas” - Teresa Nube, Aires Banze, Buchir e Joelma, Anabela, Gilaida Natingue, Didi Seleca, Victor M.C. Macedo...; Kishoresingh Rajput e Rina Koyani; Laura Jones, Tati Kaminski e Joemir Bruske; minha afilhada Thayná Petra...

Hermes e Zilá por todo o apoio em Curitiba, desde visitas em hospital a terem sido meus fiadores em duas ocasiões.

As Amadas Ma Prem Ila e Dirce Scheuer Fernandes por serem grandes exemplos de Mulheres Fortes, pelo Ayurveda e Medicina Tradicional Chinesa que tanto me ajudaram.

Ao Meu Noivo Alexandre Lengoski Ferreria pelo Amor e por ter me Facilitado Força apesar das adversidades. À minha enteada Gabriela Cardoso Lengoski por ser a criança mais adorável e intelectual que eu poderia imaginar.

Finalmente agradeço aos Meus Pais, Gerson Pereira Gonçalves & Margareth Alves Barboza Gonçalves, por Todo o Amor e Apoio sem os quais eu nada seria.

O descontentamento é
o primeiro passo
na evolução de um homem
ou de uma nação.

Oscar Wilde

Saber não é o bastante;
precisamos aplicar.
Querer não é o bastante,
precisamos fazer.

Bruce Lee

Não importa que você vá devagar,
contanto que você não pare.

Confúcio

RESUMO

O carvão vegetal é um insumo de elevada importância para o Brasil. O país é o maior produtor mundial de carvão. Seu principal destino é o setor siderúrgico, sendo fundamental para a produção de aço. Os setores residencial e comercial também são significativos, envolvendo o sustento de milhares de brasileiros. O carvão encontra-se no cerne de questões econômicas, sociais e ambientais. Normalmente os aspectos negativos são os mais evidenciados, como empresas que visam o máximo de lucro, utilização de mão de obra análoga à escravidão e derrubada massiva de florestas nativas. Por outro lado, há diversas iniciativas sustentáveis e ecologicamente corretas, com o emprego de manejo florestal e trabalhadores regularizados. Entretanto, um dos pontos fundamentais para garantir a sustentabilidade da cadeia produtiva de carvão vegetal é a Fiscalização - somente ela pode garantir que o processo está sendo realizado de forma adequada e com as espécies autorizadas. O Documento de Origem Florestal (DOF) é o principal objeto de fiscalização dos agentes governamentais. Contudo, é necessário que os agentes fiscais também saibam analisar a carga no momento da abordagem, afim de evitar possíveis fraudes ao DOF. Deste modo, a presente tese aborda a caracterização anatômica e espectroscopia do infravermelho próximo (NIR) como ferramentas para a identificação de diferentes espécies utilizadas como carvão. Tendo em vista a elevada diversidade de espécies nativas, há a necessidade de serem realizadas caracterizações anatômicas de muitas espécies e a criação de bancos de dados com espectros de NIR. Também é possível realizar a identificação de carvão vegetal baseando-se em trabalhos de anatomia da madeira, entretanto, o observador deve receber treinamento. Assim, a presente tese consiste numa contribuição para a fiscalização, corroborando que a anatomia e o emprego do NIR poderão auxiliar na sustentabilidade da cadeia produtiva de carvão vegetal no Brasil.

Palavras chave: métodos ópticos, NIR, anatomia, espectroscopia, Cerrado, Mata Atlântica.

ABSTRACT

Charcoal is a product of high importance to Brazil. The country is the world's largest charcoal producer. Its main consumption is the steel industry; charcoal is essential to the production of steel. The residential and commercial sectors are also meaningful; they involve the livelihood of several Brazilians. Charcoal is at the heart of economic, social and environmental issues. Normally the negative aspects are the most evident, as companies seeking maximum profit, using labour analogous slavery and massive logging of native forests. On the other side, there are several sustainable and environmentally friendly initiatives, with forestry management and regularized workers. However, one of the main aspects to ensure the sustainability of charcoal production chain is the Control - only it can ensure that the process is occurring properly and with the authorized species. The Document of Forest Origin (DOF) is the object of surveillance by government agents. Nevertheless, it is necessary that government agents know how to analyse the load in the moment of the approach; it aims to avoid possible frauds. Thus, this thesis discusses anatomic characterization and near infrared spectroscopy (NIR) for identifying different species applied as charcoals.. Considering the high diversity of native species, there is the need to increase the anatomical characterisation of native species and develop databases with NIR spectra. One may also perform charcoals identification based on wood anatomy works; however, the person must have specialised training. Thus, this thesis is a contribution to the charcoal control, corroborating the use of anatomy and NIR as assistance for sustainability of the charcoal supply chain in Brazil.

Key words: optical methods, NIR, anatomy, spectroscopy, Cerrado, Atlantic Forest.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 2

Prancha 2.1 – Anacardiaceae (01); Annonaceae (02); Bignoniaceae (03); Celastraceae (04). Escala 100 µm.	40
Prancha 2.2 – Chrysobalanaceae (05); Combretaceae (06); Lauraceae (07); Melastomataceae (08). Escala 100 µm.	41
Prancha 2.3 – Myrtaceae (09); Rubiaceae (10); Sapotaceae A (11); Sapotaceae B (12). Escala 100 µm.	42
Prancha 2.4 – Sapotaceae C (13); Indeterminada 01 (14); Indeterminada 02 (15); Indeterminada 03 (16). Escala 100 µm.	43
Prancha 2.5 – Indeterminada 04 (17); Indeterminada 05 (18). Escala 100 µm.	44
Prancha 2.6 – Indeterminada 06, liana (19); Indeterminada 07, liana (20); Indeterminada 08, liana (21); Indeterminada 09, liana (22). Escala 100 µm.	45
Prancha 2.7 – Araliaceae (23); Lauraceae RS (24); Rosaceae (25); Indeterminada 10 (26). Escala 100 µm.	46

Capítulo 3

Prancha 3.1 - <i>Corymbia citriodora</i>	56
Prancha 3.2 - <i>Corymbia maculata</i>	57
Prancha 3.3 - <i>Eucalyptus dunnii</i>	58
Prancha 3.4 - <i>Eucalyptus microcorys</i>	59
Prancha 3.5 - <i>Eucalyptus saligna</i>	60
Prancha 3.6 - <i>Eucalyptus tereticornis</i>	61
Prancha 3.7 - <i>Eucalyptus viminalis</i>	62
Prancha 3.8. Seção transversal macrocópica das 25 espécies do Cerrado.	76
Prancha 3.9. Seção transversal com alguns detalhes das espécies do Cerrado.....	77

Capítulo 4

Prancha 4.1- espectro médio original (A), espectro médio em segunda derivada (B); PCA médio original (C); PCA médio em segunda derivada (D).	90
Prancha 4.2 - Grupo 01: PCA dos dados originais (A) e em segunda derivada (B), todos os planos (A, B), planos longitudinais (A1, B1) e transversais (A2, B2).	91
Prancha 4.3 - Grupo 02: PCA dos dados originais (A) e em segunda derivada (B), todos os planos (A, B), planos longitudinais (A1, B1) e transversais (A2, B2).	92
Prancha 4.4 - Grupo 03: PCA dos dados originais (A) e em segunda derivada (B), todos os planos (A, B), planos longitudinais (A1, B1) e transversais (A2, B2).	93
Prancha 4.5 - Grupo 04: PCA dos dados originais (A) e em segunda derivada (B), todos os planos (A, B), planos longitudinais (A1, B1) e transversais (A2, B2).	94
Prancha 4.6 - Grupo 05: PCA dos dados originais (A) e em segunda derivada (B), todos os planos (A, B), planos longitudinais (A1, B1) e transversais (A2, B2).	95

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 2.1 – porcentagem dos táxons analisados provenientes de São Paulo37

Tabela 2.2 – porcentagem dos táxons analisados provenientes do Rio Grande do Sul
.....39

Capítulo 3

Tabela 3.1 - Dados das espécies de eucaliptos54

Tabela 3.2 - Características anatômicas das espécies de eucaliptos63

Tabela 3.3 - Características anatômicas das espécies do cerrado.73

Tabela 3.3 - cont.74

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVO GERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
ESTRUTURA DA PESQUISA	5
CAPÍTULO 1 – CARVÃO VEGETAL NO BRASIL	7
RESUMO	7
1.1 Produtividade e consumo	8
1.2 Florestas plantadas para a produção de carvão	9
1.3 Algumas ações governamentais e privadas na cadeia produtiva de carvão vegetal de florestas plantadas	10
1.4 Florestas nativas para a produção de carvão vegetal	12
1.5 Legislação e Fiscalização	17
Conclusões	21
Referências Bibliográficas	21
CAPÍTULO 2 – IDENTIFICAÇÃO DE CARVÕES PROVENIENTES DE APREENSÕES	25
RESUMO	25
INTRODUÇÃO	26
MATERIAL E MÉTODOS	27
RESULTADOS	28
– SÃO PAULO –	28
– RIO GRANDE DO SUL –	38
DISCUSSÃO	47
CONCLUSÕES	49
Referências Bibliográficas	49
CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA	52
– EUCALIPTOS –	52
RESUMO	52
INTRODUÇÃO	53
MATERIAIS E MÉTODOS	54
RESULTADOS	55
DISCUSSÃO	64
CONCLUSÕES	65

Referências Bibliográficas.....	66
- CERRADO -	69
RESUMO	69
INTRODUÇÃO	70
MATERIAL & MÉTODOS	71
RESULTADOS	72
DISCUSSÃO	78
CONCLUSÕES	80
Referências Bibliográficas.....	81
CAPÍTULO 4 – ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO APLICADA PARA IDENTIFICAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL	83
RESUMO	83
INTRODUÇÃO	84
MATERIAL E MÉTODOS	88
RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
CONCLUSÕES	103
Referências Bibliográficas.....	104
CONSIDERAÇÕES FINAIS	106

INTRODUÇÃO GERAL

Entre os maiores produtores de carvão vegetal, o Brasil se destaca na primeira posição. A cadeia produtiva do carvão vegetal está intimamente associada ao desenvolvimento do país, sendo o seu principal destino o setor siderúrgico, por estar inserido no processo de produção do aço. O impacto econômico da atividade é enorme, considerando que o parque produtor de aço brasileiro faz parte das potências mundiais, gerando milhares de empregos diretos, indiretos e de renda. Além do setor siderúrgico, também há o residencial e comercial que são expressivos. Várias famílias são dependentes desse processo para a sua subsistência. Entretanto, devido à geração de renda, muitas empresas preferem usar o carvão vegetal oriundo de desmatamento devido ao seu baixíssimo custo. Além disso, muitas pessoas em condições de vulnerabilidade social são submetidas a condições de trabalho análogas à escravidão nas carvoarias.

Há diversas iniciativas sustentáveis que visam modificar essa realidade. O governo brasileiro tem investido em reforçar a legislação, buscando coibir as ilegalidades dentro do setor florestal, inclusive contra o carvão ilegal. As empresas estão sendo obrigadas a manterem seus estoques de florestas e realizarem manejo florestal. Está sendo divulgada a imagem do “carvão verde”, ou seja, aquele oriundo de florestas plantadas ou manejo de florestas naturais ou resíduos de serrarias. As iniciativas governamentais e privadas estão contribuindo para conscientizar a sociedade sobre formas adequadas de produzir carvão vegetal. Há vários exemplos e iniciativas muito promissoras no país que precisam ser multiplicadas.

Em se tratando exclusivamente do aspecto ambiental, vale a pena ressaltar que a substituição do carvão mineral pelo vegetal proveniente de florestas plantadas ou manejo de florestas naturais é extremamente benéfica ao meio ambiente. Isto ocorre devido à supressão dos gases tóxicos do carvão mineral, como o dióxido de enxofre - responsável pelas chuvas ácidas e lixiviação dos solos. No ciclo do carvão vegetal, as florestas removem o gás carbônico do meio ambiente pelo processo de fotossíntese, gerando saldo positivo em créditos de carbono além de ser nulo em dióxido de enxofre. Por outro lado, quando o carvão vegetal é proveniente do desmatamento, a emissão de gás carbônico ocasionada pela retirada indevida das árvores é muito superior ao carvão mineral, além de outras consequências negativas.

A fiscalização é um dos principais meios de garantir que o processo está sendo bem desenvolvido. Na cadeia produtiva de carvão vegetal, a fiscalização se dá através do controle das espécies e o seu principal meio é o Documento de Origem Florestal (DOF). Contudo, muitas vezes esse documento é usado de forma indevida ou a carga é alterada. Assim, é preciso que os agentes fiscalizadores saibam como identificar a carga no momento da abordagem do transportador ou no posto de fiscalização.

Alguns dos principais desafios da identificação são: (i) formação dos agentes florestais; (ii) dificuldade de analisar a carga, seja pela elevada quantidade de caminhões transportando carvões, ou ao grande volume de sacas de carvão que teriam de ser descarregadas para a análise, ou pelo fator tempo disponível nesta operação ou até mesmo por questões de prioridades da atividade; (iii) limitações científico-tecnológicas, como desenvolver equipamentos que façam a identificação imediata.

Assim, a hipótese central da tese consiste na aplicação da anatomia e espectroscopia no infravermelho próximo como ferramentas para a fiscalização de carvão, ou seja, na possibilidade do uso de ambos para identificar as espécies que originaram o carvão vegetal. Normalmente os agentes governamentais precisam saber se as espécies são nativas ou plantadas. Isto ocorre principalmente porque no caso de espécies nativas plantadas há homogeneidade do carvão e os produtores florestais devem possuir licença específica para o seu plantio; caso contrário, é alta a probabilidade de que os carvões sejam oriundos de desmatamento ilegal.

Na presente tese, foi realizada a análise de carvões apreendidos na região da Mata Atlântica em São Paulo e Rio Grande do Sul, pela Polícia Militar Ambiental e Polícia Federal. A identificação dos táxons foi feita com o máximo de precisão possível. Vale a pena ressaltar que a Mata Atlântica é considerada o bioma mais ameaçado do Brasil e há legislação rígida sobre a supressão e utilização das suas espécies.

Considerando a dificuldade de se comparar dois tipos distintos de materiais, foi feita a carbonização e a caracterização anatômica de 32 espécies, sete eucaliptos e 25 nativas do Cerrado. As espécies de eucaliptos foram escolhidas devido a sua ampla utilização para produção de carvão vegetal; as nativas por serem utilizadas, muitas vezes indevidamente, para o mesmo fim. Inclusive, o Cerrado tem uma supressão histórica das suas espécies para práticas agrícolas e pecuária; o carvão

vegetal vem complementar negativamente com essa realidade. Assim, o bioma é um dos mais ameaçados do país, “hot spot” para as prioridades de conservação e já perdeu cerca da metade da sua área original.

Como forma de tentar facilitar o trabalho dos fiscais, foram analisadas as 32 espécies em espectroscopia no infravermelho próximo (NIR). A metodologia NIR pode ser definida como não destrutiva, fornecendo resultados rápidos e precisos sobre uma ampla gama de constituintes químicos, sem a necessidade de preparação elaborada das amostras. Há poucos trabalhos que se destinaram a separação de espécies com a utilização do NIR, alguns foram bem-sucedidos e outros não. Nossos resultados corroboram com o primeiro caso.

OBJETIVO GERAL

Analisar o potencial do uso das técnicas da caracterização anatômica dos carvões e da espectroscopia no infravermelho próximo como ferramentas para identificação das espécies que originaram o carvão vegetal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar carvões de apreensões realizadas em São Paulo e no Rio Grande do Sul;
- Caracterizar a anatomia de carvões de espécies de eucaliptos e do cerrado paulista;
- Avaliar a aplicabilidade das técnicas de Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) para a identificação imediata de carvões.

ESTRUTURA DA PESQUISA

A presente tese está subdividida em quatro partes:

CAPÍTULO 1 – CARVÃO VEGETAL NO BRASIL

Consiste numa breve revisão bibliográfica sobre a produção de carvão vegetal no Brasil, tendo sido subdividido nas seguintes seções:

- 1.1** – questões sobre produtividade e consumo, sendo que o país é o maior produtor mundial do insumo, tendo o seu principal destino o setor siderúrgico.
- 1.2** – dados sobre florestas plantadas para a produção de carvão e importância da certificação florestal.
- 1.3** – ações governamentais e privadas na cadeia produtiva de carvão vegetal de florestas plantadas, exemplificando o Protocolo Sustentabilidade Carvão Vegetal; Programa Fundo Clima; legislação de Minas Gerais; e algumas iniciativas da Arcelor Mittal.
- 1.4** – florestas nativas para a produção de carvão vegetal, aspectos negativos e positivos, enaltecendo que é possível transformar a cadeia produtiva de carvão vegetal de espécies nativas numa atividade sustentável, contanto que haja envolvimento da sociedade, além de iniciativas privadas e governamentais.
- 1.5** – legislação e fiscalização, alguns aspectos legais envolvendo o carvão vegetal no Código Florestal, Documento de Origem Florestal e dificuldades práticas dos agentes fiscalizadores.

Capítulo 2 - Apreensões

É tratada a questão prática das técnicas utilizadas nas apreensões de carvão vegetal realizada pelos órgãos governamentais. A carga foi apreendida entre 2010-11 pela Polícia Militar Ambiental de São Paulo e Polícia Federal do Rio Grande do Sul, ambos em área de Mata Atlântica. Normalmente os fiscais avaliam, com o laudo de análise do material, se os carvões são provenientes de espécies nativas ou plantadas. Entretanto, foi realizada a identificação dos carvões com o maior nível de precisão possível, ou seja, nível de família, gênero e espécie.

Capítulo 3 – Caracterização Anatômica

Uma das recomendações para a análise de carvões é que se faça a comparação entre materiais do mesmo tipo, ou seja, carvão *versus* carvão, isto devido às alterações decorrentes da carbonização. É perfeitamente possível analisar a anatomia de carvões fazendo a comparação com a anatomia de madeira, entretanto, é preciso treinamento e indispensável grande acuidade visual do observador. Visando facilitar o processo de identificação carvão *versus* carvão, são apresentadas traduções de dois artigos, um publicado e outro aceito para publicação, referentes a sete espécies de eucaliptos e 25 espécies do cerrado paulista. Posteriormente as espécies apresentadas farão parte de um livro com caracterização anatômica dessas espécies.

Capítulo 4 – Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada para identificação de carvão vegetal

Os carvões analisados no Capítulo 3 foram analisados através do espectrofotômetro de infravermelho próximo visando à separação das espécies. Os resultados foram promissores, mesmo com algumas espécies tendo apresentado características muito próximas entre si, foi possível diferenciá-las.

Considerações Finais – consiste na conclusão geral do trabalho e recomendações para contribuir com o processo de fiscalização de carvão vegetal no Brasil.

CAPÍTULO 1 – CARVÃO VEGETAL NO BRASIL

RESUMO

O Brasil é o maior produtor de carvão vegetal, correspondendo a 14% do total produzido mundialmente. O principal destino do carvão é o setor siderúrgico (85%) principalmente para a produção de ferro-gusa e aço, mas também ferro-liga e para a indústria de cimento. Os outros setores são o residencial (12%), comercial (2%) e diversos (1%). De uma forma geral, pode-se dizer que o carvão vegetal está envolvido no âmbito econômico, social e ambiental, sendo praticamente impossível dissociá-lo de alguma dessas partes, havendo aspectos positivos e negativos em todo o processo. Economicamente, a produção de carvão vegetal é extremamente significativa para indústria siderúrgica e para pessoas em situação de vulnerabilidade social que encontram na produção do carvão vegetal uma forma de aumentarem a sua renda. Entretanto, no aspecto social, situações de extrema pobreza e ausência de informações, fazem com que diversas pessoas sejam submetidas por criminosos ao trabalho análogo à escravidão; por outro lado há empregadores que seguem normas de segurança do trabalho e estão de acordo com as normas de direitos trabalhistas. No aspecto ambiental, a substituição de carvão mineral pelo vegetal é ecologicamente correta, quando proveniente de florestas plantadas ou manejo florestal, remove gás carbônico do meio ambiente; por outro lado, quando há ausência de manejo ou simplesmente desmatamento, a emissão de gás carbônico é muito superior ao carvão mineral, além da supressão florestal ocasionar inúmeras consequências negativas. Em meio ao contexto tão polêmico, o carvão vegetal pode ser considerado “vilão” ou “mocinho” dependendo do direcionamento da sua cadeia produtiva. Assim, o presente capítulo se destina a analisar, brevemente, diversas vertentes. Esperamos, acima de tudo, que toda a parte negativa possa ser suprimida, que o carvão vegetal possa ser um produto ecológico e sustentável.

Palavras chave: cadeia produtiva de carvão vegetal, manejo florestal, eucalipto, espécies nativas, legislação, fiscalização.

1.1 Produtividade e consumo

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal. A série histórica da FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) avalia que somente no nosso país a média anual de produção foi de 6,2 milhões de toneladas no período de 1961 até 2014, mesmo com a ocorrência de várias oscilações durante esses anos de análise. O segundo maior produtor neste mesmo período foi a Etiópia com de 3,2 milhões de toneladas. Considerando apenas o ano de 2014, o Brasil produziu 6,1 milhões de toneladas de carvão vegetal seguido pela Nigéria e Etiópia, 4,19 e 4,02 respectivamente (BRASIL, 2015; FAO, 2015). A produção nacional corresponde a aproximadamente 14% do total produzido mundialmente, sendo que o seu principal destino é siderúrgico; diferentemente da África onde o seu consumo é basicamente residencial, ou seja, para cocção de alimentos e aquecimento (IBÁ, 2014).

De acordo com o Balanço Energético Nacional, no ano de 2014 o setor industrial consumiu aproximadamente 85% do total de carvão vegetal produzido, sendo que 4,3 milhões de toneladas foram para a produção de ferro-gusa e aço, 675 mil toneladas para ferro-liga e 188 mil toneladas para a indústria de cimento. Vale a pena ressaltar que o consumo industrial é obtido diretamente dos consumidores, descontando o percentual de perdas na distribuição e armazenagem. Entretanto, através da análise desses dados, pode-se inferir que o consumo seja bem maior, devido às possíveis omissões de dados de empresas, especialmente aquelas que utilizam carvão vegetal de procedência ilegal. Outros setores significativos foram representados em mil toneladas (10³t): 740 residencial (12%), 141 comercial (2%) e 33 outros (1%), também são passíveis dos mesmos problemas de fiscalização do setor industrial (BRASIL, 2015).

Um dos principais motivos do uso do carvão vegetal para a siderurgia ter prevalecido no Brasil, é porque a biomassa cresce com extrema rapidez e há grande disponibilidade de minérios ricos em ferro (SAMPAIO, 2004). Esse é um processo extremamente positivo, ao passo que comparando a rota do coque (carvão mineral) com a do carvão vegetal de florestas plantadas para a produção de uma tonelada de aço, tem-se: (i) coque libera 1,9 toneladas de gás carbônico de estoque médio e aproximadamente 7 kg de dióxido de enxofre (SO₂) que contribui para a formação de chuvas ácidas além da destruição da camada de ozônio; (ii) carvão vegetal remove do ambiente o equivalente a 1,1 toneladas de gás carbônico de estoque médio

(considerando todo o processo do crescimento da árvore e da fotossíntese) e é um processo praticamente isento de enxofre (SAMPAIO, 2004; ABRAF, 2009). Entretanto, quando o carvão vegetal é de origem ilegal, há a emissão de aproximadamente 5 toneladas de gás carbônico ocasionada pela retirada indevida das árvores (ABRAF, 2009); conseqüentemente há a ausência de novos plantios e de todo o ciclo da fotossíntese diferente no caso do carvão vegetal de florestas plantadas onde o processo de supressão e plantio florestal é contínuo.

Além do aspecto ambiental, o manejo e plantio de florestas também possibilitam a inclusão social de milhões de brasileiros, sendo que a tecnologia da biomassa usa de forma intensiva a mão de obra rural e estende-se ainda à utilização de capital para máquinas e equipamentos sofisticados. Considerando a qualidade do produto final, por exemplo, na produção do silício metálico em forno elétrico de redução, a vantagem do carvão vegetal se intensifica tanto na parte elétrica envolvida no processo - por ser mais resistivo do que o coque - quanto na parte química - apresenta teores de cinzas inferiores a 1% *versus* o coque com teores superiores a 6%; assim, caso o silício metálico seja produzido a partir do coque, há maior incorporação de impurezas, maior consumo de energia e perda de metal em seu processo de refino (SAMPAIO, 2004). Assim, as vantagens do carvão vegetal no processo siderúrgico resultam em produtos de maior qualidade, inclusive o ferro gusa, e também contribuem para que a intensidade de emissões de CO₂ da indústria do aço brasileira seja inferior à de diversos países, com compensação das emissões de Gases de Efeito Estufa no processo industrial (IBÁ, 2015b).

1.2 Florestas plantadas para a produção de carvão

Com relação à área de florestas plantadas no Brasil, o anuário da “Indústria Brasileira de Árvores” (IBÁ, 2015) avaliou que no ano de 2014 havia 7,74 milhões de hectares e que 15,2% deles foram destinados à siderurgia a carvão vegetal. Além disso, o anuário evidencia o uso do carvão vegetal como um dos redutores energéticos mais importantes da indústria siderúrgica nacional. Dados deste mesmo anuário e do ano anterior (IBÁ, 2014) avaliam que para o ano de 2014, foi estimado um consumo de 5,30 milhões de toneladas de carvão vegetal para a produção de ferro-gusa, com 81% de participação de madeira oriunda de árvores plantadas; sendo que esse percentual vem apresentando reduções graduais, em 2014 houve déficit de 4%

comparado ao ano anterior, e em 2013 já apresentou valor 3,8% inferior a 2012. Alguns dos motivos dessa queda nos últimos anos podem ser explicados pela crise financeira mundial, forte redução da atividade industrial brasileira, em especial do setor automotivo, e a baixa competitividade dos produtos siderúrgicos brasileiros no mercado internacional pressionados pela grande expansão de exportação de aços pela China; entretanto, espera-se que o ferro-gusa brasileiro ganhe competitividade com a valorização do dólar frente ao real.

No último Relatório de Sustentabilidade (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2014), foi avaliado que em 2013 a produção de aço pela rota do carvão vegetal representou aproximadamente 10% da produção total de aço bruto do setor e 89% do carvão utilizado pelas empresas associadas foram provenientes de florestas próprias. Neste mesmo ano, as empresas mantinham 964 mil hectares de floresta plantada sendo que 542 mil são de uso econômico. Como as empresas são obrigadas a manterem uma área de floresta nativa, esses plantios estão relacionados à conservação de 422 mil hectares. Essas empresas utilizam dois principais selos de certificação florestal, o FSC (Forest Stewardship Council) e Cerflor (Certificação Florestal).

As principais espécies plantadas são de eucaliptos. Existem muitas razões para essa preferência, como por exemplo: plantios com ciclos de curta duração; taxas de crescimento rápidas e madeira de alta densidade; alta adaptabilidade a diversas condições edafoclimáticas, como climas muito secos e solos pobres em nutrientes (STANTURF *et al.*, 2013). Além disso, a grande maioria dos trabalhos sobre carvão vegetal são com *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. (e.g. TRUGILHO *et al.*, 2001; BOTREL, *et al.*, 2007; PEREIRA *et al.*, 2012; NONES *et al.*, 2015).

1.3 Algumas ações governamentais e privadas na cadeia produtiva de carvão vegetal de florestas plantadas

Devido às elevadas quantidades de carvão vegetal consumida pela indústria siderúrgica e como forma de reduzir as ilegalidades do setor, no dia 03 de abril de 2012 foi assinado o “Protocolo Sustentabilidade Carvão Vegetal” pelas empresas: Aperam South America, ArcelorMittal, Gerdau, Siderúrgica Norte Brasil (Sinobras), Thyssenkrupp CSA Siderúrgica do Atlântico, Usiminas, Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil, V&M do Brasil, Villares Metals, Votorantim Siderurgia (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2013). Neste protocolo são considerados princípios de sustentabilidade

buscando legalizar a indústria do aço. Foram determinados oito compromissos principais: (i) sustentabilidade ambiental, social e econômica; (ii) eliminação da violação dos direitos trabalhistas e ao meio ambiente; (iii) interação apenas com empresas que cumpram as exigências legais; (iv) respeito a toda documentação requerida pela legislação; (v) parceria com o Poder Público para programas de conscientização social e ambiental junto aos fornecedores de carvão vegetal; (vi) prazo de 4 anos para concluir os estoques florestais das empresas através do plantio próprio ou de terceiros, desde que em acordo com os requisitos legais; (vii) parceria com o Governo para continuidade ao desenvolvimento e implementação de tecnologia para carbonização, visando a redução das emissões dos gases de efeito estufa; (viii) apresentar periodicamente o desenvolvimento das ações acima referidas no Relatório de Sustentabilidade da indústria do aço.

Além da obrigatoriedade de empresas já estabelecidas a se comprometerem com o meio ambiente, o governo também tem estimulado outras iniciativas sustentáveis, como do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) que recebe pedidos de financiamento com recursos do “Programa Fundo Clima” para carvão vegetal (BNDES, 2015). O objetivo principal é apoiar investimentos de empresas com sede e administração no país que são voltadas para a melhoria da eficiência e sustentabilidade da produção de carvão vegetal. Os empreendimentos que podem ser apoiados são: (i) sistemas de carvoejamento, abrangendo fornos com rendimento gravimétrico acima de 35%; (ii) sistemas auxiliares de melhoria de eficiência energética; (iii) sistemas de recuperação, tratamento e aproveitamento energético.

Alguns governos estaduais também estão atentando para a importância do carvão vegetal e reforçando a sua legislação nos últimos anos. No caso de Minas Gerais, a Lei 18.365/09 estabelece que o uso de carvão nativo seja de no máximo 10% entre 2014-2017 e 5% a partir de 2018, ou seja, nos próximos 2 anos há a determinação de que 95% do carvão consumido no Estado devam ser provenientes de florestas plantadas (MINAS GERAIS, 2009). De acordo com tal lei será necessário a implementação de 1,5 milhão de hectares de florestas plantadas ao ano de modo a garantir a satisfação da demanda até 2018 (AMBIENTE GESTÃO EM SUSTENTABILIDADE, 2012). Atualmente, há uma alta taxa tributária sobre carvões provenientes de espécies nativas, buscando coibir a extração ilegal, e incentivo fiscal para produtores rurais de floresta plantada (IMANÑA *et al.*, 2015). Atualmente, no Brasil

há aproximadamente 125 indústrias que utilizam carvão vegetal no processo de produção (ferro-gusa, ferro-ligas e aço) e 80% delas estão em Minas Gerais (IBÁ, 2015). Assim, o respeito à legislação e a garantia da procedência do carvão vegetal são fundamentais para garantir a sustentabilidade da produção.

Outro exemplo positivo é o da empresa ArcelorMittal Aços Longos que aumentou as suas áreas de plantio de eucalipto, fomentou plantio em áreas de terceiros - Programa Produtor Florestal, investiu na produção e no desenvolvimento de florestas de alta produtividade, além de ter aprimorado a sua metodologia de carbonização. A empresa também afirma ter conseguido anular a utilização de carvão proveniente de florestas nativas. A ArcelorMittal é o maior grupo siderúrgico e o maior produtor de aço mundial, portanto, tais melhorias no seu processo produtivo foram consideradas pelo governo brasileiro como exemplo de sustentabilidade (AMBIENTE GESTÃO EM SUSTENTABILIDADE, 2012).

1.4 Florestas nativas para a produção de carvão vegetal

Definitivamente o aspecto negativo é o mais divulgado. De uma forma geral, os crimes relacionados à cadeia produtiva do carvão vegetal ocorrem em todo Brasil, mas as áreas com maior frequência são aquelas onde há maior densidade de florestas e menor densidade demográfica. De acordo com o último censo realizado pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), a densidade demográfica (hab/Km²) das regiões políticas é: 86.92 no Sudeste, 48.58 no Sul, 34.15 no Nordeste, 8.75 no Centro-Oeste e 4.12 no Norte.

Como exemplo, o caso do Polo de Carajás, situado entre a região Norte (Pará e Tocantins) e a Nordeste (Maranhão). De acordo com um estudo realizado pelo Greenpeace (2012), Carajás foi definido como uma das regiões mais desmatadas e violentas da Amazônia. Essa região teve um crescimento explosivo que se iniciou nos anos 1980, quando o governo decidiu “desenvolver” o local, transformando-o num polo de produção de ferro. Contudo, devido aos diversos aspectos políticos e econômicos, a devastação florestal é inversamente proporcional à presença do Estado, ou seja, em regiões com maior poder público o desmatamento é menor. Assim, a maior parte das terras desmatadas em Carajás é ocupada por pastagens e plantações de soja. Mas também há o caso das carvoarias que causam um grande impacto negativo nas florestas e na população. Normalmente as carvoarias são ilegais e situam-se em áreas

de difícil acesso; caso sejam fechadas pelas autoridades, facilmente são instaladas em outros locais próximos às áreas de desmatamento, em áreas protegidas e terras indígenas. Como o custo do combustível representa entre 33-50% do custo do ferro gusa, as carvoarias da região costumam contratar mão de obra análoga à escrava e usar madeira de origem ilegal, oferecendo à empresa uma imensa oportunidade de lucro. Cerca de 80-90% de todo o ferro gusa ligado à devastação da região é exportado para os Estados Unidos, para ser usado como componente primário na fabricação de aço ou ferro fundido. Esse ferro gusa abastece empresas como Ford, General Motors, BMW, Mercedes, Nissan e John Deere.

Ainda no mesmo documento (GREENPEACE, 2012), é constatada a dificuldade em se determinar com precisão a espécie carbonizada. Isto porque as espécies costumavam ser provenientes diretamente da extração ilegal ou das sobras de serrarias, ou seja, pelo formato das amostras era mais fácil identificar. Entretanto, nos últimos anos houve a introdução de espécies reflorestadas, cascas de coco ou madeira reconstituída de serragem, o que aumentou a diversidade de tipos de carvão vegetal, dificultando mais ainda a separação dos mesmos. Esse problema poderia ser minimizado, ou até mesmo anulado, com a capacitação dos agentes fiscais em identificação de carvão assim como o desenvolvimento de técnicas de identificação imediata. Outro ponto enaltecido é: “O carvão vegetal como combustível para produção de ferro gusa no Brasil é uma anomalia”, certamente considerando o desmatamento desenfreado promovido pelas grandes empresas. Por outro lado, o produto “carvão vegetal” pode ser nobre e, desde que produzido devidamente, possuir uma cadeia produtiva sustentável.

Considerando os trabalhadores ilegais, o trabalho de Dias *et al.* (2002) apresenta a triste realidade de algumas carvoarias em Minas Gerais, relatando que: (i) nas carvoarias artesanais normalmente estão envolvidas crianças a partir dos quatro anos de idade e que a partir dos 12 anos já assumem todas as tarefas sem distinção de sexo; (ii) as mulheres também desempenham as mesmas funções dos homens e acumulam as tarefas domésticas, fazendo dupla jornada de trabalho; (iii) nas carvoarias volantes os trabalhadores moram ou ficam alojados próximos aos fornos em instalações improvisadas e são desprovidos de condições mínimas de higiene e saneamento básico; (iv) nas carvoeiras analisadas, não existe água potável disponível e há a crença de que a ingestão de água poderia “cozinhar as tripas” ou

provocar “constipação”, assim os trabalhadores passam a maior parte do período sem ingerir água; (v) a média de vida foi de 54 anos para o sexo masculino e 59 para o sexo feminino, sendo as doenças cardiovasculares as principais causas de morte, entre diversas complicações possíveis. Outros trabalhos retratam condições extremamente semelhantes às do trabalho anterior e promovem maior detalhamento sobre os tipos de doenças relacionadas à atividade carvoeira (e.g. KATO *et al.*, 2005; CANETTIERI *et al.*, 2013). Essa realidade tende a permanecer enquanto não houver aumento da fiscalização e inserção social.

Por outro lado, uma iniciativa importante que visa auxiliar os trabalhadores carvoeiros foi tomada em 2004 com a criação do “Instituto Carvão Cidadão” (ICC) - uma entidade jurídica sem fins lucrativos, criada pelas siderúrgicas que integram o pólo industrial do ferro gusa na região de Carajás, com sede na cidade de Imperatriz, no Maranhão. Os principais objetivos do instituto são: (i) orientar e fiscalizar as atividades de acordo com a legislação trabalhista; (ii) denunciar irregularidades contra os trabalhadores; (iii) promover relacionamento com o Ministério do Trabalho e Emprego e outros órgãos governamentais e privados, realizando auditorias nas carvoarias dos estados do Maranhão, Pará, Tocantins e Roraima; (iv) promover reuniões educativas e informativas com fornecedores e trabalhadores, divulgar relatórios de parceiros não conformes com as normas de conduta (CGEE, 2013).

Entretanto, de acordo com um estudo do Greenpeace (2012), o Instituto Carvão Cidadão (ICC) é presidido pela siderúrgica Viena e, mesmo com a promessa de não usar mão de obra análoga à escrava e que o instituto contrate auditorias externas, a prática ainda impera no setor; além disso, o instituto não consegue resolver as ilegalidades no setor e não tem estrutura para resolver práticas com critérios ambientais. Outro ponto negativo é a dificuldade em monitorar as carvoarias clandestinas, como por exemplo, uma carvoaria que não está na lista de fornecedores de uma siderúrgica fornece a sua produção para outra que, aparentemente, opera dentro dos padrões exigidos e é monitorada pelos compradores, assim não há como estabelecer os objetivos do ICC para reduzir os problemas do setor (REPÓRTER BRASIL; PAPEL SOCIAL, 2012). Embora o ICC ainda não consiga atuar amplamente em toda a região, mesmo assim ele é uma referência de boa prática empresarial para enfrentar as ilegalidades relacionadas à cadeia produtiva do carvão vegetal, tendo levado importantes melhorias no monitoramento de empreendimentos dedicados à

produção do insumo como melhoria nas condições trabalhistas, principalmente no lado maranhense do polo (REPÓRTER BRASIL; PAPEL SOCIAL, 2012; IOS, 2011).

Com relação à integração entre agentes governamentais e sociedade para práticas sustentáveis na produção de carvão vegetal de espécies nativas, talvez um dos maiores avanços nacionais esteja sendo desenvolvido no estado de Santa Catarina. A possibilidade de melhorias técnicas e regulamentação legal para produtores rurais, sistemas agroflorestais e a atividade do carvoejamento, motivou a criação do Projeto Nosso Carvão (FANTINI, 2009) e posteriormente a criação da Rede Sul Florestal (RECH *et al.*, 2010) – rede entre instituições de pesquisa, ensino e extensão e agências ambientais no Sul do Brasil com o objetivo de desenvolver estratégias adequadas para a solução de problemas socioambientais relacionados ao uso da floresta no âmbito da agricultura familiar a partir da problemática do carvão vegetal (ULLER-GÓMEZ *et al.*, 2013).

No município de Biguaçu (SC), o carvão vegetal é produzido de florestas nativas manejadas no sistema “roça de toco”; nesse sistema uma pequena área de floresta é derrubada e queimada para preparar e fertilizar a terra para o cultivo de espécies agrícolas como mandioca, milho, feijão, batata doce, por um período de 6 a 8 anos; depois vem o “pousio” onde a área fica de 10 a 30 anos sem ser explorada, permitindo que a floresta se regenere (ULLER-GÓMEZ; GARTNER, 2008; FANTINI *et al.*, 2010; BAUER *et al.*, 2015). Neste local, acima de 30% das famílias que vivem da agricultura complementam a sua renda com a atividade do carvoejamento, sendo de grande importância econômica para essas famílias, contribuindo assim para a manutenção delas em suas respectivas propriedades e evitando o êxodo rural (ULLER-GÓMEZ; GARTNER, 2008; FANTINI *et al.*, 2010).

As espécies utilizadas em Biguaçu geralmente são as nativas da Mata Atlântica, como a bracatinga (*Mimosa scabrella* - Fabaceae Mimosoideae) que possui associação com o fogo para a quebra das sementes e, embora seja típica do planalto catarinense, é utilizada há mais de 50 em conjunto com o plantio da mandioca (FANTINI *et al.*, 2010; ULLER-GÓMEZ *et al.*, 2013). A bracatinga produz carvão vegetal com boa qualidade energética, apresentando alto rendimento na carbonização, bom poder calorífico superior e baixo teor de cinzas, por outro lado, possui características indesejáveis como altos teores de materiais voláteis e baixo carbono fixo (FRIEDERICHS *et al.*, 2015). Quando a regeneração da bracatinga é

substituída por espécies de eucaliptos, toda a tradição da “roça de toco” é anulada, dá lugar ao plantio de eucaliptos - processo que prejudica a biodiversidade local (FANTINI *et al.*, 2010). Na “roça de toco”, também são utilizadas as espécies nativas como licurana (*Hieronyma alchorneoides* - Phyllanthaceae) e jacatirão-açu (*Miconia cinnamomifolia* - Melastomataceae), todas resultando em carvões de boa qualidade e contribuindo com o manejo florestal da região (BRAND *et al.*, 2013; CARVALHO *et al.*, 2014).

Um outro exemplo da necessidade de aliar o manejo florestal com a produção de carvão vegetal, ou seja, orientar a população como fazer o plantio e corte das espécies, ocorre na Caatinga - considerada o único bioma exclusivamente brasileiro. Este bioma situa-se sob clima predominantemente semiárido, sua área original era de quase um milhão de hectares (844.453Km², 9,9% do território nacional), ocupando 70% do Nordeste; entretanto, como a área é extensivamente usada para a pecuária e agricultura itinerante, além da extração de lenha e produção de carvão, acima de 60% deste bioma já foi perdido (IBGE, 2004; Gariglio *et al.*, 2010). Tendo em vista as condições de vulnerabilidade da Caatinga, especialmente devido aos longos períodos de seca, e como forma de garantir a segurança alimentar das comunidades locais, a produção de carvão é essencial para a sobrevivência de milhares de pequenos produtores rurais (PAUPITZ, 1989; GARIGLIO *et al.*, 2010).

Um trabalho desenvolvido por Riegelhaupt *et al.* (2010) avaliou os impactos do manejo florestal sustentável na conservação da diversidade de plantas lenhosas em duas áreas com Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) implementados; os resultados comprovaram que as áreas exploradas nos PMFS contribuem com uma nova e diferente fonte de diversidade florística no estrato lenhoso, ainda que utilizando a técnica de corte raso houve maior riqueza de espécies lenhosas apresentando valores superiores à diversidade das Reservas Legais, justamente por haver o plantio controlado das essências florestais nas PMFS. O trabalho da empresa Carbojota LTDA (BASTOS FILHO, 2008) vem comprovando esses resultados, como, por exemplo, com o “Projeto Jurema” que ensinou uma comunidade na Paraíba a realizar manejo florestal sustentável e desenvolveu um método operacional de carbonização de acordo com a necessidade local; assim, as famílias envolvidas reduziram sua carga de trabalho e aumentaram a sua renda em até 100%.

Exemplos citados, em Mata Atlântica e Caatinga, são apenas alguns dos vários casos que ocorrem no Brasil. Entretanto, ainda podem ser considerados pequenos, tendo em vista o tamanho do país e o enorme número de pessoas em situação de pobreza extrema ou vulnerabilidade. Mas, acima de tudo, são grandes atos que precisam ser multiplicados pelo Poder Público e Privado. Esses exemplos comprovam que é possível sim produzir carvão vegetal de forma sustentável e promover o desenvolvimento social.

1.5 Legislação e Fiscalização

A questão da proteção de espécies nativas e a sua inconsequente transformação em carvão vegetal é antiga. Em 1934 o primeiro Código Florestal foi instituído pelo decreto 23.793 (BRASIL, 1934). Nele havia proibição para a transformação de espécies nativas em carvão vegetal em locais de “vegetação escassa”, margens de rios ou locais de uso público. Além disso, também proibia o uso de espécies “consideradas de grande valor econômico” ou que possuíam aplicações mais úteis ou estivessem ameaçadas de extinção. As empresas siderúrgicas já eram obrigadas a terem suas florestas plantadas para a produção de carvão vegetal, contudo eram dispensadas dessa obrigação caso estivessem situadas em regiões de “extensas florestas virgens”. Inclusive nesta época já havia punições para carvão vegetal de florestas “proibidas”, a pena poderia ser detenção de até 15 dias e multa.

Após 31 anos, foi instituída a lei nº 4.771 (BRASIL, 1965) que revogou o decreto anterior, mas as empresas siderúrgicas já eram obrigadas a manter florestas próprias para a produção de carvão vegetal.

Muitos decretos após, foi instituída a lei nº 12.651 (BRASIL, 2012) – também conhecida como “Novo Código Florestal”. Nele as empresas siderúrgicas, metalúrgicas ou outras que consomem grandes quantidades de carvão vegetal são obrigadas a apresentarem um Plano de Suprimento Sustentável (PSS), como garantia de utilização exclusiva de florestas plantadas, ou um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) que será parte integrante do processo de licenciamento ambiental do empreendimento. Ainda no mesmo documento, há a obrigação do Documento de Origem Florestal (DOF) desde a aquisição do carvão vegetal de espécies nativas até o seu beneficiamento final.

Assim, o Documento de Origem Florestal (DOF) pode ser definido como uma licença obrigatória para o controle do transporte e armazenamento de produtos e subprodutos florestais de origem nativa. A licença é emitida e impressa pelo usuário no site do IBAMA pelo “Sistema DOF”. Nela devem conter as informações sobre a procedência e saldo dos produtos e subprodutos florestais (BRASIL, 2006; IBAMA, 2015a).

No DOF o carvão vegetal é considerado um subproduto por ser originado de um produto em forma bruta ou *in natura*, ou seja, madeira que foi submetida ao processo da carbonização resultando no carvão. A licença deve ser gerada em três casos: (i) resíduos da indústria madeireira (aparas, costaneiras, cavacos e demais restos de beneficiamento e de industrialização de madeira) quando destinados para fabricação de carvão; (ii) carvão de resíduos da indústria madeireira; (iii) carvão vegetal nativo empacotado, na fase posterior à exploração e produção. O DOF é identificado por um código de controle de acordo com os produtos e subprodutos, para carvão vegetal o DOF é denominado “Preto”. Contudo, caso o carvão vegetal esteja empacotado do comércio varejista, seja proveniente de produtos como casca de coco ou esteja beneficiado na forma de briquetes, a licença não é necessária. Além disso, a instrução normativa também orienta no seu artigo 17: “O consumidor final de carvão vegetal nativo que verificar divergência entre os volumes de origem e de destino contidos no DOF e na Nota Fiscal, deverá apresentar justificativa junto à unidade do Ibama de sua jurisdição, indicando o volume real efetivamente recebido, a fim de dar acobertamento ao armazenamento ou consumo do produto na unidade industrial” (BRASIL, 2006).

Em se tratando das punições, especialmente para a “Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável - RIO+20”, o governo brasileiro publicou o “Lei da Vida - Lei dos Crimes Ambientais”, onde constam a “Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998” e o “Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008” em conjunto com as atualizações com as alterações dadas pela “Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010” e “Lei nº 12.408, de maio de 2011” (IBAMA, 2011). Neste documento podem ser conferidas algumas penas para: (i) cortar ou transformar em carvão, madeira de lei, assim classificada por ato do Poder Público, para fins industriais, energéticos ou para qualquer outra exploração, econômicos ou não, em desacordo com as determinações legais: Pena - reclusão, de um a dois anos, e multa; (ii) receber ou adquirir, para fins

comerciais ou industriais, madeira, lenha, carvão e outros produtos de origem vegetal, sem exigir a exibição de licença do vendedor, outorgada pela autoridade competente, e sem munir-se da via que deverá acompanhar o produto até o final do beneficiamento: Pena - detenção, de seis meses a um ano, e multa. Em se tratando das atualizações, em 1998 a comercialização, o transporte e o armazenamento de produtos e subprodutos florestais eram punidos como contravenção (Art. 46); hoje adquirir, vender, transportar, armazenar madeira, lenha ou carvão, sem licença da autoridade competente, sujeita o infrator a até um ano de prisão e multa.

Entretanto, para a fiscalização ambiental devida e a possível aplicação das multas, um dos maiores desafios que os agentes fiscalizadores encontram é a falsificação de documentos. Embora o Documento de Origem Florestal (DOF) seja um avanço no controle florestal, a falsificação do DOF pode ser elaborada com a contratação de “hackers” para a invasão tanto de sites governamentais quanto de sistemas computacionais de empresas florestais para emissão de documentos ilegais. Mas também pode ser realizada de forma mais simples, como a utilização de um mesmo DOF para diversos carregamentos ou a venda acima da quantidade autorizada pela autoridade ambiental. Notícias e informações sobre crimes ambientais nesta magnitude podem ser encontradas em sites especializados como, por exemplo, o portal do IBAMA-MMA (IBAMA 2015b), Ministério Público Federal (MPF 2015) e Polícia Rodoviária Federal (PRF 2015), mas também em estudos como o do Instituto Observatório Social (2011), Greenpeace (2012), Instituto ETHOS (2012), entre outros, mas também em diversos sites na internet devendo-se sempre atentar para confirmação da veracidade dos fatos, ou seja, buscando sempre as plataformas governamentais e instituições que sejam bem consolidadas.

Além do uso de documentos ilegais, muitas vezes ocorre falta de integração entre as plataformas governamentais. Isto pôde ser evidenciado no período de 2007-2009, onde o consumo total de carvão vegetal pelo Pólo de Carajás (um dos principais produtores de ferro-gusa nacional, situado entre MA e PA) não foi representativo devido à falta integração de informações sobre o transporte interno nos estados de Mato Grosso, Maranhão, Pará e Rondônia. Já o estado de Minas Gerais - um dos grandes produtores de carvão vegetal do País, não apareceu no levantamento porque não possuía o sistema eletrônico de controle integrado ao Sistema-DOF; contudo, as empresas siderúrgicas de MG estavam obrigadas a acessar o DOF para adquirir

carvão vegetal de outros estados, fazendo com que MG aparecesse como o maior consumidor de carvão vegetal pelo Sistema-DOF. Além de maior integração no sistema, outro ponto que contribuiria muito para a fiscalização seria um DOF específico para importação, pois permitirá conhecer com precisão o país de origem do carvão importado; este problema é evidenciado nos estados do Paraná e do Mato Grosso do Sul que apresentaram os grandes volumes de carvão vegetal comparados à média nacional, entretanto grande parte do carvão proveniente deles é carvão importado de países vizinhos, especialmente do Paraguai (IBAMA, 2010), inclusive, um dos motivos da queda da atividade carvoeira no Pantanal pode estar no Paraguai, ao passo que parte da demanda por carvão das siderúrgicas brasileiras vem sendo abastecida pela produção do país vizinho (REPÓRTER BRASIL; PAPEL SOCIAL, 2012).

Outro agravante é a dificuldade de se verificar os carregamentos de carvão vegetal, normalmente eles são apreendidos tendo em base a pesagem dos caminhões. Raramente os fiscais governamentais analisam a carga - o carvão em si. Portanto, a capacitação dos fiscais para analisarem as espécies florestais carbonizadas e fornecer meios para a identificação imediata é um processo fundamental para a sustentabilidade da fiscalização de carvão vegetal.

De uma forma geral, pode-se dizer que a produção ilegal impacta fortemente a Amazônia, o Pantanal e o Cerrado; mas a Caatinga e a Mata Atlântica também estão sendo afetadas de modo preocupante (REPÓRTER BRASIL; PAPEL SOCIAL, 2012). Definitivamente é um desafio colossal, devido ao tamanho do país e elevada quantidade de carvão vegetal produzida, mas também falta de conhecimentos técnico-científico dos fiscais, ausência de tecnologia para realizar a identificação imediata dos carvões e falta de recursos humanos para realizar a fiscalização.

Conclusões

O Brasil é um país de extensa área territorial e com a maior produção mundial de carvão vegetal. O principal destino do carvão vegetal é para a indústria siderúrgica que se mantém à base de biomassa devido à sua abundância no país e facilidade de produção. Esta realidade pode ser refletida na área de florestas plantadas destinadas à produção de carvão. Devido à importância do setor, o governo brasileiro se comprometeu a visar a sua sustentabilidade ambiental, social e econômica. Entretanto, um dos maiores desafios é fiscalizar as espécies usadas, sendo que muitas nativas são usadas de forma ilegal. Por outro lado, há muitas espécies nativas sendo usadas de forma sustentável pelo manejo florestal. A forma oficial do governo controlar o uso dessas espécies é através da legislação e do documento de origem florestal. Contudo, há vários agravantes que dificultam este processo, sendo que um dos principais é a identificação das espécies pelo carvão em si. Há a necessidade de disseminar conhecimento técnico-científico aos fiscais e aprimorar meios de identificação imediata dos carvões, algo que buscamos desenvolver nos capítulos seguintes.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2009 ano base 2008**. Brasília: ABRAF. 140 p. 2009.

AMBIENTE GESTÃO EM SUSTENTABILIDADE. Uma Iniciativa Verde de Bioenergiano Setor Siderúrgico: O Caso da ArcelorMittal Brasil. 2012. In: Brasil. **Bom para o Meio Ambiente, para as Pessoas e para os Negócios: Casos de Boas Práticas Sustentáveis no Brasil**. Cap 07, p. 205-235, 2012.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO (BNDES). **Fundo Clima – Carvão Vegetal**. 2015. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Programas_e_Fundos/Fundo_Clima/carvao_vegetal.html>. Acesso em 10/10/2015.

BASTOS FILHO, J.G. Sistemas de produção de carvão vegetal em pequenas, médias e grandes unidades. In: I Fórum nacional sobre carvão vegetal. **Anais...** 2008.

BAUER, E. *et al.* A produção de carvão vegetal na agricultura familiar do Sul do Brasil: retrato de uma realidade escondida. **Revista PerCursos**, v. 16, n. 30, p. 99 - 121, 2015.

BOTREL, M.C.G. *et al.* Melhoramento das propriedades do carvão vegetal de Eucalyptus. **Revista Árvore**, v. 31, p. 391-398, 2007.

BRAND, M.A. *et al.* Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (de Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar, em Biguaçu, Santa Catarina. **Scientia Forestalis** (IPEF), v. 41, p. 401-410, 2013.

BRASIL. **Decreto nº 23.793, aprova o Código Florestal**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Rio de Janeiro, p. 25.538, 1934.

_____. **Lei 4771 de 15/09/1965 que institui o Novo Código Florestal**. 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771impressao.htm>. Acesso em: 10/06/2015.

_____. **Instrução Normativa Nº 112. Dou Nº 162**, de 23 de agosto de 2006.

_____. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm> Acesso em: 10/06/2015.

BRASIL 2015. **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2015. 292 p.

CANETTI, T. *et al.* A atividade de carvoejamento e o risco a saúde da população de Rancho Novo, Caeté - MG. **Revista Pegada**, v. 14, n. 1, p. 257-281, 2013.

CARVALHO, A. F. *et al.* Propriedades físicas e energéticas da madeira e do carvão vegetal da espécie *Hieronyma alchorneoides*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, p. 257, 2014.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Subsídios 2014 ao Plano-Siderurgia do MDIC: Modernização da produção de carvão vegetal**. Contrato Administrativo CGEE/MDIC 49/2013. Brasília. 99 p. 2013.

DIAS, E. C. *et al.* Processo de trabalho e saúde dos trabalhadores na produção artesanal de carvão vegetal em Minas Gerais, Brasil. **Caderno de Saúde Pública**, v. 18, n. 1, p. 269-277, 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2015. **FAOSTAT: Forestry Data**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/>>. Acesso em: 01/10/2015.

FANTINI, A.C. **Projeto “Nosso Carvão”**. 2009. Edital MCT/CNPq/MDA/SAF/Dater Nº 033/2009.

FANTINI, A. C. *et al.* Produção de carvão e de saberes na agricultura familiar de SC. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 23, n. 3, p. 13-15, 2010.

FRIEDERICHS, G. *et al.* Qualidade da Madeira e do Carvão Vegetal de Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). **Ciência da Madeira**, v. 6, p. 79-87, 2015.

GARIGLIO, M. A. *et al.* (Org.). **Uso sustentável e conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro. 368p. 2010.

GREENPEACE. **Carvoaria Amazônia:** Como a indústria de aço e ferro gusa está destruindo a floresta com a participação de governos. Manaus - AM. 17p. 2012. Disponível em <http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/documentos/2012/423%20-%20Pig%20Iron%20D3_portugues.pdf>. Acesso 06/10/2015.

IMAÑA, C.R. *et al.* A Tributação na produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 21, p. 9-16, 2015.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Ibá 2014.** 100 p. 2014. Disponível em <<http://iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acesso 10/10/2015.

_____. (IBÁ). **Relatório Ibá 2015.** 64 p. 2015. Disponível em: <<http://iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acesso em: 10/10/2015.

_____. (IBÁ). **Site Indústria Brasileira de Árvores.** 2015b. Disponível em: <<http://iba.org/pt/>>. Acesso em: 10/10/2015.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Protocolo de Sustentabilidade do Carvão Vegetal.** 20p. 2013. Disponível em <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/sustentabilidade-carvao-vegetal.asp>>. Acesso 10 de outubro de 2015.

_____. **Relatório de Sustentabilidade.** 49p. 2014. Disponível em <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/relatorio.asp>>. Acesso 10 de outubro de 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2004. **Mapa de biomas do Brasil: escala 1:5.000.000.** Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 07/10/2015.

_____. 2010. Densidade demográfica nos Censos Demográficos, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação - 1872/2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=10&uf=00>>. Acesso em: 07/10/2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **DOF: Informação estratégica para a gestão florestal no Brasil:** período 2007-2009. Brasília: Ibama. 56p. 2010.

_____. (IBAMA). **Lei da Vida, Lei dos Crimes Ambientais.** Brasília: Ibama. 66p. 2011.

_____. (IBAMA). **Documento de Origem Florestal – DOF.** 2015a. Disponível em: <<https://servicos.ibama.gov.br/index.php/licencas/documento-de-origem-florestal-dof>>. Acesso em: 10/10/2015.

_____. (IBAMA) Portal do IBAMA. 2015b. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em: 10/10/2015.

INSTITUTO ETHOS. **Combate à devastação ambiental e trabalho escravo na produção do ferro e do aço: Amazônia, Cerrado e Pantanal.** 1ª ed. 132 p. 2012

INSTITUTO OBSERVATÓRIO SOCIAL (IOS). **O aço da devastação.** 33p. 2011. Disponível em <www.observatoriosocial.org.br>. Acesso 10/10/2015.

KATO, M. *et al.* World at work: Charcoal producing industries in Northeastern Brazil. **Occup. Environ. Med.** v. 62, p. 128-132, 2005.

MINAS GERAIS. Norma: Lei 18365, de 01/09/2009. **Legislação Mineira**. 2009. Disponível em:
<<http://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?ano=2009&num=18365&tipo=LEI>>. Acesso em 10/10/2015.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL (MPF). **4ª Câmara de Coordenação e Revisão - Meio Ambiente & Patrimônio Cultural**. 2015. Disponível em: <<http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/>>. Acesso em 10/10/2015

NONES, D.L. *et al.* Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, v. 45, p. 57-64, 2015.

PAUPITZ, J. **Considerações sobre a extensão florestal: perspectivas e objetivos**. Natal: Projeto PNUD/FAO/BRA/87/007. Circular técnica n. 02. 8 p. 1989.

PEREIRA, B.L.C. *et al.* Quality of wood and charcoal from *Eucalyptus* clones for ironmaster use. **International Journal of Forestry Research**, v. 2012, p. 1-8, 2012.

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL (PRF). 2015. Polícia Rodoviária Federal. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/portal/>>. Acesso em 10/10/2015.

RECH, T. D. *et al.* **Rede Sul Florestal: PD&I em sistemas florestais e produção de energia na agricultura familiar**. Edital MCT/CNPq/MEC/CAPES/CT AGRO/CT HIDRO/FAPS/EMBRAPANr 22/2010 - Redes Nacionais de Pesquisa em Agrobiodiversidade e Sustentabilidade Agropecuária-REPENSA, Florianópolis. Projeto de pesquisa. 2010.

REPÓRTER BRASIL; PAPEL SOCIAL. **Combate à devastação ambiental e trabalho escravo na produção do ferro e do aço: Amazônia, Cerrado e Pantanal**. 135 p. 2012.

RIEGELHAUPT, E. *et al.* Impactos do manejo florestal sobre a flora arbórea. *In*: Gariglio, M.A. *et al.* (Org.). **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro. p. 292-300. 2010.

SAMPAIO, R.S. Agente redutor na produção de metais: exemplo do eucalipto na produção de ferro-gusa. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 145-155, 2004.

STANTURF, J.A. *et al.* **Eucalyptus beyond its native range: Environmental issues in exotic bioenergy plantations**. *Int. J. For. Res.* 2013.

TRUGILHO, P.F. *et al.* Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Cerne** v.7, n.1, p.104-114, 2001.

ULLER-GÓMEZ, C.; GARTNER, C. **Um caminho para conhecer e transformar nossa comunidade**. Relatório final de pesquisa vinculada ao TOR 23/2006, Florianópolis: Epagri/MB2, 2008.

ULLER-GÓMEZ, C. *et al.* Abordagens educativas, extensão rural e agricultura familiar em Biguaçu-SC. **INTERthesis**, v. 10, p. 287-321, 2013.

CAPÍTULO 2 – IDENTIFICAÇÃO DE CARVÕES PROVENIENTES DE APREENSÕES

RESUMO

O desmatamento ocorre em várias regiões do Brasil diariamente. Uma parte desse material é destinada para a produção de carvão vegetal. Embora as indústrias siderúrgicas consumam a maior quantidade de carvão, os setores residencial e comercial também são expressivos. Assim, pessoas em condições de vulnerabilidade social fazem o desmatamento ilegal e produzem artesanalmente carvão visando melhorar um pouco suas condições socioeconômicas. Contudo, caso essa atividade não esteja devidamente regulamentada, será considerada uma prática criminosa resultando em apreensão do material e processo jurídico. Essa realidade ocorre praticamente em todos os biomas nativos, sendo que alguns deles estão mais ameaçados do que outros. Em se tratando da Mata Atlântica, ela é considerada um “hot spot” de prioridade de conservação, tendo conservado menos de 30% da sua área original, sendo o bioma mais ameaçado do Brasil. Considerando a importância do bioma e visando contribuir com o trabalho dos fiscais ambientais, realizamos a identificação de carvão vegetal apreendido entre 2010-1 pela Polícia Militar Ambiental de São Paulo e Polícia Federal do Rio Grande do Sul. Foram analisadas 88 amostras de São Paulo (SP) e 40 do Rio Grande do Sul (RS). Os carvões foram quebrados manualmente e analisados em estereomicroscópio. Foram utilizadas as recomendações do IAWA Committee, a plataforma do Inside Woods e referências especializadas em anatomia da madeira para a identificação do material. Foram identificados 26 táxons distintos em SP e quatro no RS. Normalmente o nível de precisão requisitado pelos fiscais ambientais é o de espécies nativas ou plantadas. Entretanto, o material foi identificado principalmente ao nível de família devido às limitações do material e técnicas, além de pouca bibliografia disponível em anatomia da madeira de espécies nativas. Lianas e diversas partes das árvores foram encontradas, o que confirma que todo o material lenhoso é aproveitado para a produção de carvão. A caracterização anatômica dos táxons está de acordo com o esperado para regiões de Mata Atlântica, tendo sido possível notar a diferença entre a quantidade de parênquima axial do material proveniente de SP e RS. A vitrificação e as rupturas não comprometeram a identificação dos caracteres anatômicos. Os resultados corroboram a importância do estudo da anatomia dos carvões para auxiliar o processo de fiscalização, assim como a necessidade de capacitação dos profissionais responsáveis por esse processo.

Palavras chave: Carvão vegetal, anatomia, identificação, Mata Atlântica, fiscalização.

INTRODUÇÃO

Conforme abordado no capítulo anterior, diversas regiões do país sofrem com o desmatamento diário e muito desse material lenhoso é destinado para a produção de carvão. O principal setor consumidor de carvão vegetal é o siderúrgico, mas além dele há o consumo residencial e comercial que também são expressivos (BRASIL, 2015). Em se tratando dos dois últimos setores, diversas famílias que estão em condições de vulnerabilidade, fazem a derrubada ilegal de árvores, constroem fornos artesanais e produzem carvão vegetal de forma não regulamentada, visando principalmente a cocção dos alimentos e aumentar um pouco a sua renda (e.g MEIRA *et al.*, 2005; CARRIERI-SOUZA *et al.*, 2014). Informações sobre essa produtividade informal normalmente não entram nas estatísticas oficiais pela dificuldade de serem registradas nos órgãos governamentais (FAO, 2014).

No Brasil, independente da condição social e do bioma, desmatamento e produção de carvão vegetal sem licença do órgão competente do Sisnama (Sistema Nacional do Meio Ambiente) e/ou o DOF (Documento de Origem Florestal) são consideradas práticas criminosas resultando em apreensão da carga e processo jurídico (IBAMA, 2010; BRASIL, 2013). Muitas vezes, apenas a falta de documentação é suficiente para apreensão da carga, por outro lado, saber identificar a carga para conferir a veracidade dos documentos é necessário para se realizar uma boa fiscalização. Quando há dúvidas ou desconhecimento sobre a origem dos carvões apreendidos, o material apreendido é encaminhado para profissionais especializados em identificação, sendo que o nível de precisão requisitado normalmente é o de espécies nativas ou plantadas.

No caso específico da Mata Atlântica, ela é considerada um “hot spot” de prioridade de conservação, tendo em vista a sua elevada biodiversidade e o endemismo de espécies, além disso, ela fornece água a mais de 125 milhões de brasileiros; entretanto, devido a intensos impactos antrópicos há mais de cinco séculos, houve redução de 76% da sua área original sendo o bioma mais ameaçado do Brasil, tendo restado apenas fragmentos florestais cercados pelas grandes cidades, pecuária e agricultura (MITTERMEIER *et al.*, 2005; BRASIL, 2013; JOLY *et al.*, 2014). Como forma de tentar proteger os remanescentes, em 2006 foi instituída a lei nº 11.428, também conhecida como “Lei da Mata Atlântica” (*In*: BRASIL 2013). Nesta lei, há o veto ao corte, a supressão e a exploração da vegetação primária e

secundária em estágio avançado de regeneração, que somente podem ser autorizados em caráter excepcional; na vegetação secundária em estágio médio de regeneração, tais práticas podem ser autorizadas em caráter excepcional ou quando necessários ao pequeno produtor rural e populações tradicionais para o exercício de atividades ou usos agrossilvopastoris imprescindíveis à sua subsistência; nas áreas com vegetação secundária em estágio inicial de regeneração, não há restrições específicas, sendo que o corte, a supressão e a exploração podem ser autorizados pelo órgão estadual competente, exceto nos estados em que a vegetação primária e secundária remanescente do bioma for inferior a 5% da área original (BRASIL, 2013).

Assim, produção de carvão vegetal sem o DOF e em áreas de Mata Atlântica são considerados crimes ambientais resultando em apreensão do material e processo jurídico. Tendo em vista a necessidade de fiscalização deste material, o presente capítulo se destina a realizar a identificação de carvões apreendidos pela Polícia Militar Ambiental de São Paulo e Polícia Federal do Rio Grande do Sul, ambos em região de Mata Atlântica.

MATERIAL E MÉTODOS

Cento e vinte e oito amostras de carvões foram obtidas de duas apreensões realizadas entre 2010-2011, sendo 88 delas do estado de São Paulo (Polícia Militar Ambiental) e 40 do Rio Grande do Sul (Polícia Federal). No primeiro caso, a perícia foi realizada pelo Instituto Florestal de São Paulo, já no segundo pelo Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira da Universidade Federal do Paraná (LANAQM/UFPR). Os locais exatos da coleta foram mantidos em sigilo por serem provas de um processo criminal.

O formato original de grande parte das amostras foi mantido e elas foram coletadas em tamanho grande (até 15 cm), tendo sido possível identificar de qual parte da árvore elas foram provenientes, e.g. tronco ou galho, ou se eram lianas. Cada amostra foi quebrada manualmente de acordo com os três planos de corte (transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial). No caso das amostras com alta densidade, a quebra manual foi auxiliada por uma lâmina de estilete e um formão; sendo o último utilizado para causar impacto na a lâmina facilitando a quebra.

A análise foi realizada com o auxílio de um estereomicroscópio Zeiss Discovery V12. As recomendações do IAWA Committee (1989) foram utilizadas para a identificação das estruturas, descrições e mensurações anatômicas; valores dentro de parêntesis representam características raras ou eventuais. A identificação foi realizada a partir de bibliografia especializada em anatomia da madeira, assim como sites, sendo o principal deles o Inside Woods (2004-onwards). Os graus de vitrificação foram analisados conforme Marguerie e Hunot (2007). As rupturas decorrentes da carbonização também foram relatadas, porque em alguns casos as amostras podem apresentar rupturas muito severas que dificultam a identificação correta dos elementos anatômicos. Amostras com identificação dúbia foram denominadas “Indeterminadas”; mesmo não tendo sido identificadas, essas amostras são importantes porque demonstram a diversidade florística do local.

RESULTADOS

As 128 amostras foram agrupadas em 26 táxons distintos, sendo 22 de São Paulo e quatro do Rio Grande do Sul. Apresentamos a caracterização anatômica concisa dos táxons de acordo com a ordem alfabética das famílias, seguida por uma tabela com a porcentagem dos táxons identificados por região (Tabelas 2.1 e 2.2) e das pranchas com as microfotografias do plano de corte transversal (Pranchas 2.1 – 2.7).

– SÃO PAULO –

1 – ANACARDIACEAE

(Prancha 2.1, fig.01)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente, assim como parênquima marginal evidenciado em alguns fragmentos. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial 50-100 µm, 100-200 µm; 5-20 vasos/mm²; tiloses raras; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** vasicêntrico, aliforme losangular, pouca confluência, faixa de parênquima marginal. **Raios** 1-2 seriados; 4-12 raios/mm; com todas as células procumbentes, mas também com o corpo de células procumbentes

e 1-3 fileiras marginais de células eretas e/ou quadradas. **Fibras** com parede celular fina a espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausentes. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** cristais prismáticos nos raios, normalmente nas extremidades dos raios e um cristal por célula. **Vitrificação** eventual, nas paredes das fibras. **Rupturas** ausentes.

2 – ANNONACEAE

(Prancha 2.1, fig.02)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas pelo parênquima marginal. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial 50-100 µm, 100-200 µm; 5-20 vasos/mm²; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** em linhas. **Raios** (1) 2-6 seriados; ≤ 4 raios/mm; com todas as células procumbentes, mas também com o corpo de células procumbentes e 1 fileira marginal de células eretas e/ou quadradas. **Fibras** com parede celular fina a muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausentes. **Elementos secretores** ausente. **Inclusões minerais** ausentes. **Vitrificação** presentes nas fibras. **Rupturas** ausentes.

3 – BIGNONIACEAE – *Tabebuia* sp.

(Prancha 2.1, fig.03)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas pelo parênquima marginal. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial ≤ 50 µm, 50-100 µm; 40-100 vasos/mm²; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** confluyente, vasicêntrico, em faixas. **Raios** 2-seriados; 4-12 raios/mm; com todas as células procumbentes. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação** presente nos raios, elementos de vasos, parênquima. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** ausentes. **Vitrificação** presente na parede de algumas fibras. **Rupturas** ausentes.

4 – CELASTRACEAE – *Maytenus* sp.

(Prancha 2.1, fig.04)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas pelo parênquima marginal assim como por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente; o tipo de delimitação é mais evidente conforme o táxon. **Vasos** com porosidade difusa;

arranjo disperso; diâmetro tangencial $\leq 50 \mu\text{m}$; 40-100 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** em faixas com mais de 3 células de largura. **Raios** 1-3(4) seriados; ≥ 12 raios/ mm ; células procumbentes, eretas e quadradas misturadas, mas também formado por células procumbentes e 4-8 fileiras marginais de células eretas e/ou quadradas. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** ausente. **Inclusões minerais** cristais prismáticos em células não subdivididas do parênquima axial, o tamanho dos cristais é predominantemente maior que o diâmetro tangencial dos vasos. **Vitrificação** presentes nas fibras. **Rupturas** ausentes.

5 – CHRYSOBALANACEAE cf. *Chrysobalanus* aff. *C. icaco*

(Prancha 2.2, fig.05)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas pelo parênquima marginal. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso, tendência ao diagonal; diâmetro tangencial 100-200 μm , vasos de duas classes de diâmetro distintas sem anéis porosos; ≤ 5 vasos/ mm^2 , 5-20 vasos/ mm^2 ; tiloses eventuais; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** em linhas irregulares, faixas de 3-5 células de largura, difuso e difuso em agregados; a abundância do parênquima variou entre os táxons analisados. **Raios** predominantemente 1-seriados, mas há também localmente 2-seriados; ≥ 12 raios/ mm ; com todas as células procumbentes, e também com células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausentes. **Elementos secretores** ausente. **Inclusões minerais** corpos silicosos e pequenos cristais prismáticos em algumas células do parênquima axial e radial. **Vitrificação** presente, abundante. **Rupturas** ausentes.

6 – COMBRETACEAE – *Terminalia* sp.

(Prancha 2.2, fig.06)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas pelo parênquima marginal assim como por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial 50-100 μm ; 20-40 vasos/ mm^2 ; tiloses eventuais; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** vasicêntrico, aliforme losangular, confluyente e em faixas marginais. **Raios**

predominantemente 1-seriados, raros 2-3-seriados; ≥ 12 raios/mm; com todas as células procumbentes, e também com células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. **Fibras** com parede celular fina a muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausentes. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** cristais prismáticos nos raios. **Vitrificação** presente nas fibras. **Rupturas** raras.

7 – LAURACEAE

(Prancha 2.2, fig.07)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial 50-100 μm ; 20-40 vasos/ mm^2 , 40-100 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** ausente ou extremamente raro. **Raios** 1-3 seriados; ≥ 12 raios/mm; com todas as células procumbentes, eventuais com células procumbentes e 1 fileira de células eretas e/ou quadradas. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** células oleíferas associadas ao parênquima radial e entre as fibras. **Inclusões minerais** ausentes. **Vitrificação** presente nas fibras. **Rupturas** raras.

8 – MELASTOMATACEAE – *Mouriri* sp.

(Prancha 2.2, fig.08)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas pelo parênquima marginal. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; exclusivamente solitários; diâmetro tangencial 50-100 μm , 100-200 μm ; 5-20 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** em linhas e faixas com até 5 células de largura. **Raios** predominantemente 1-seriados, raros 2-seriados; ≥ 12 raios/mm; com células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. **Fibras** com parede celular espessa a muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausentes. **Elementos secretores (variação cambial)** floema incluso, difuso. **Inclusões minerais** ausentes. **Vitrificação** em algumas fibras. **Rupturas** ausentes.

9 – MYRTACEAE – cf. *Eugenia* aff. *E. axillaris*

(Prancha 2.3, fig.09)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; exclusivamente solitários, diâmetro tangencial 50-100 µm, 100-200 µm, vasos de dois tamanhos distintos sem anéis porosos; 5-20 vasos/mm²; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** em linhas, faixas irregulares com até 5 células e difuso em agregados. **Raios** 1-2 seriados; ≥12 raios/mm; com células procumbentes, eretas e quadradas misturadas, e também com células procumbentes e 2-6 fileiras marginais de células eretas e/ou quadradas. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausentes. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** cristais prismáticos em células do parênquima axial e radial. **Vitrificação** presente. **Rupturas** ausentes.

10 – RUBIACEAE

(Prancha 2.3, fig.10)

Camadas de crescimento ausentes ou indistintas. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial 50-100 µm; 20-40 vasos/mm²; tiloses eventuais; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** ausente ou extremamente raro. **Raios** 1-3 seriados, presença de células envoltentes; 4-12 raios/mm; todas as células eretas e/ou quadradas, raros com células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. **Fibras** com parede celular muito fina. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausentes. **Elementos secretores** ausente. **Inclusões minerais** presentes, pequenos cristais prismáticos nas células dos raios, semelhantes às ráfides. **Vitrificação** pouca. **Rupturas** raras.

11 – SAPOTACEAE A – *Sideroxylon* aff. *obtusifolium*, sapotiaba

(Prancha 2.3, fig.11)

Camadas de crescimento ausentes ou indistintas. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo em padrão dendrítico; diâmetro tangencial ≤ 50 µm; 40-100 vasos/mm²; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** em linhas. **Raios** 2-seriados; 4-12 raios/mm, ≥12 raios/mm; com células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação**

ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** ausentes. **Vitrificação** presente. **Rupturas** ausentes.

12 – SAPOTACEAE B

(Prancha 2.3, fig.12)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas pelo parênquima marginal. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo diagonal ao dendrítico; diâmetro tangencial 50-100 μm ; 5-20 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** em linhas, reticulado. **Raios** 1-3 seriados; ≥ 12 raios/ mm ; com células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** corpos silicosos nos raios. **Vitrificação** presente nas fibras. **Rupturas** ausentes.

13 – SAPOTACEAE C

(Prancha 2.4, fig.13)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas pelo parênquima marginal. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo radial, em alguns locais tendência ao diagonal; diâmetro tangencial 50-100 μm ; 5-20 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** em faixas com até 5 células de largura. **Raios** 1-2 seriados; ≥ 12 raios/ mm ; com células procumbentes, eretas e quadradas misturadas, e também com células procumbentes e 2-7 fileiras marginais de células eretas e/ou quadradas. **Fibras** com parede celular espessa a muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** cristais prismáticos nas células dos raios. **Vitrificação** presente nas fibras. **Rupturas** ausentes.

14 – Indeterminada 01

(Prancha 2.4, fig.14)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por anéis porosos. **Vasos** com porosidade anéis porosos; arranjo disperso; diâmetro tangencial $\leq 50 \mu\text{m}$, 100-200 μm ; 5-20 vasos/ mm^2 , 20-40 vasos/ mm^2 ; tiloses poucas; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** difuso em agregados, linhas irregulares, confluyente, vasicêntrico e aliforme losangular. **Raios** 1-2 seriados; 4-12 raios/ mm , ≥ 12 raios/ mm ; com todas as

células procumbentes. **Fibras** com parede celular fina a espessa. **Estratificação** presente em todos os raios, parênquima axial e elementos de vaso. **Espessamento espiralado** ausentes. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** cristais prismáticos eventuais nos raios e nas fibras. **Vitrificação** presente. **Rupturas** ausentes.

15 – Indeterminada 02

(Prancha 2.4, fig.15)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial 100-200 μm , $\geq 200 \mu\text{m}$; ≤ 5 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** aliforme losangular, vasicêntrico e confluyente. **Raios** 2-4 seriados; 4-12 raios/ mm ; com todas as células procumbentes. **Fibras** com parede celular fina a espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausentes. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** cristais prismáticos dentro das células de parênquima axial, mais de um cristal por célula. **Vitrificação** presente em algumas fibras. **Rupturas** ausentes.

16 – Indeterminada 03

(Prancha 2.4, fig.16)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; exclusivamente solitários; diâmetro tangencial 50-100 μm , 100-200 μm ; 5-20 vasos/ mm^2 , 20-40 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** ausente ou extremamente raro. **Raios** 1-5 seriados; 4-12 raios/ mm ; presença de raios fusionados e com mais de 1mm; com células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. **Fibras** com parede celular muito fina a espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** ausentes. **Vitrificação** pouca. **Rupturas** ausentes.

17 – Indeterminada 04

(Prancha 2.5, fig.17)

Camadas de crescimento ausentes ou indistintas. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial 50-100 μm ; 40-100 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração escalariforme, com 6-23 barras. **Parênquima axial** difuso e difuso em agregados. **Raios** 1-2 seriados; ≥ 12 raios/ mm ; com células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** ausentes. **Vitrificação** presente. **Rupturas** ausentes.

18 – Indeterminada 05

(Prancha 2.5, fig.18)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial ≤ 50 μm ; ≥ 100 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** difuso. **Raios** 5-10 seriados; ≤ 4 raios/ mm , 4-12 raios/ mm ; com células procumbentes, eretas e quadradas misturadas. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** células oleíferas ou mucilaginosas associadas aos raios. **Inclusões minerais** ausentes. **Vitrificação** presente. **Rupturas** presente nos raios.

19 – Indeterminada 06 (liana)

(Prancha 2.6, fig.19)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por anéis porosos. **Vasos** com porosidade em anéis porosos; arranjo disperso; diâmetro tangencial 50-100 μm , 100-200 μm , dimorfismo de vasos; 5-20 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** difuso. **Raios** 1-2 (3) seriados; 4-12 raios/ mm ; com todas as células procumbentes, eventuais com células procumbentes e 1 fileira de células eretas e/ou quadradas. **Fibras** com parede celular fina a espessa. **Estratificação** presente nos elementos de vaso. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores (variações cambiais)** floema incluso (?), canais radiais, outras variações cambiais. **Inclusões minerais** cristais prismáticos em série nas fibras. **Vitrificação** presente nos elementos de vaso. **Rupturas** raras nos raios.

20 – Indeterminada 07 (liana)

(Prancha 2.6, fig.20)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso, localmente em padrão tangencial; diâmetro tangencial $\leq 50 \mu\text{m}$, 50-100 μm , dimorfismo de vasos; 20-40 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** escasso, eventuais difusos e difuso em agregados. **Raios** 2 seriados; ≤ 4 raios/ mm ; com todas as células procumbentes. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** ausente. **Inclusões minerais** cristais prismáticos nas fibras, abundantes. **Vitrificação** ausente. **Rupturas** ausentes.

21 – Indeterminada 08 (liana)

(Prancha 2.6, fig.21)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por anéis semi-porosos. **Vasos** com porosidade anéis semi-porosos; arranjo disperso; diâmetro tangencial $\leq 50 \mu\text{m}$, 50-100 μm , dimorfismo de vasos; 20-40 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** ausente ou extremamente raro, em alguns locais assemelhar ter difuso e difuso em agregados. **Raios** 2-3 seriados; 4-12 raios/ mm ; com todas as células procumbentes. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** ausente. **Vitrificação** presente nos elementos de vaso. **Rupturas** ausentes.

22 – Indeterminada 09 (liana)

(Prancha 2.6, fig.22)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial $\leq 50 \mu\text{m}$, 50-100 μm , dimorfismo de vasos; 20-40 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** ausente ou extremamente raro. **Raios** 4-10 seriados, ≥ 10 seriados; ≤ 4 raios/ mm ; com todas as células procumbentes. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** canais axiais

traumáticos. **Inclusões minerais** cristais prismáticos presentes nas células dos raios. **Vitrificação** ausente. **Rupturas** ausentes.

Tabela 2.1 – Porcentagem dos táxons analisados provenientes de São Paulo

Famílias	%
Anacardiaceae	15
Annonaceae	8
Bignoniaceae (<i>Tabebuia</i> sp.)	2,5
Celastraceae (<i>Maytenus</i> sp.)	8
Chrysobalanaceae (cf. <i>Chrysobalanus</i> aff. <i>icaco</i>)	5
Combretaceae (<i>Terminalia</i> sp.)	8
Lauraceae	2,5
Melastomataceae (<i>Mouriri</i> sp.)	2
Myrtaceae (<i>Eugenia</i> sp.)	2,5
Rubiaceae (cf. <i>Psychotria</i> sp.)	2,5
Sapotaceae	16
Indeterminadas	15
Lianas (Indeterminadas)	13

– RIO GRANDE DO SUL –

23 – ARALIACEAE cf. *Schefflera morototoni*

(Prancha 2.7, fig.23)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial 50-100 µm; 5-20 vasos/mm², 20-40 vasos/mm²; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** ausente ou extremamente raro. **Raios** 4-7 seriados; 4-12 raios/mm; com todas as células procumbentes, e também com células procumbentes e 1 fileira marginal de células eretas e/ou quadradas. **Fibras** com parede celular espessa a muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** raros cristais prismáticos nos raios. **Vitrificação** presente em algumas fibras e elementos de vasos. **Rupturas** ausentes.

24 – LAURACEAE RS

(Prancha 2.7, fig.24)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial ≤50 µm, 50-100 µm; 20-40 vasos/mm², 40-100 vasos/mm²; tiloses ausentes; placa de perfuração simples, escalariforme com 6-12 barras. **Parênquima axial** ausente ou extremamente raro, em algumas amostras há escasso e difuso bem evidenciado. **Raios** 1-2 seriados; ≥12 raios/mm; com todas as células procumbentes, e também com células procumbentes e 1-2 fileiras de células eretas e/ou quadradas. **Fibras** com parede celular muito fina a fina. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausentes. **Elementos secretores** células oleíferas associadas ao parênquima radial e entre as fibras. **Inclusões minerais** cristais prismáticos, em muitos casos assemelham-se as acículas sendo necessário fotomicrografias com maiores aumentos para confirmação. **Vitrificação** presente nas fibras mais espessas. **Rupturas** raras.

25 – ROSACEAE – *Prunus* sp.

(Prancha 2.7, fig.25)

Camadas de crescimento presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo

disperso; exclusivamente múltiplos; diâmetro tangencial $\leq 50 \mu\text{m}$, 50-100 μm ; 40-100 vasos/ mm^2 , ≥ 100 vasos/ mm^2 ; tiloses ausentes; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** ausente ou extremamente raro. **Raios** 1-2 seriados; ≥ 12 raios/ mm ; com todas as células procumbentes, e também com células procumbentes e 1-2 fileiras marginais de células eretas e/ou quadradas. **Fibras** com parede celular muito espessa. **Estratificação** ausente. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** cristais prismáticos nas fibras e raios. **Vitrificação** presente. **Rupturas** presentes apenas em uma amostra.

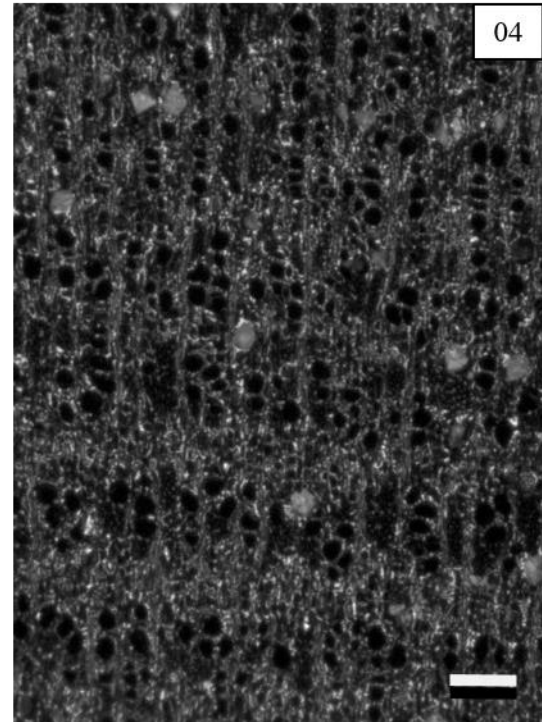
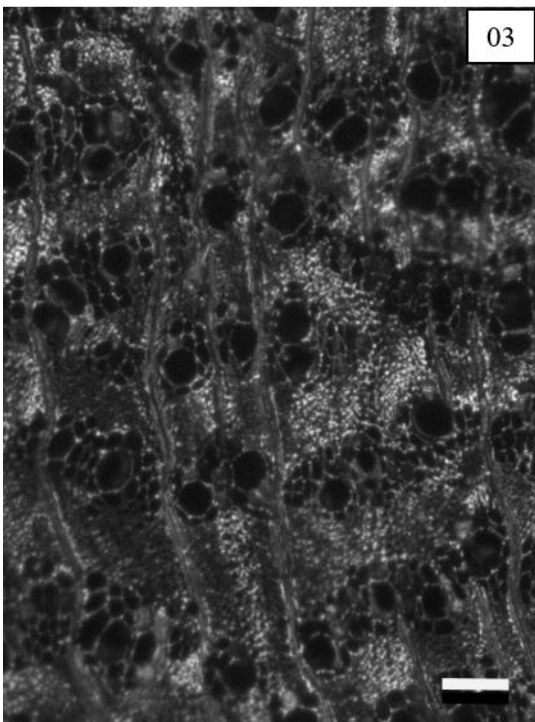
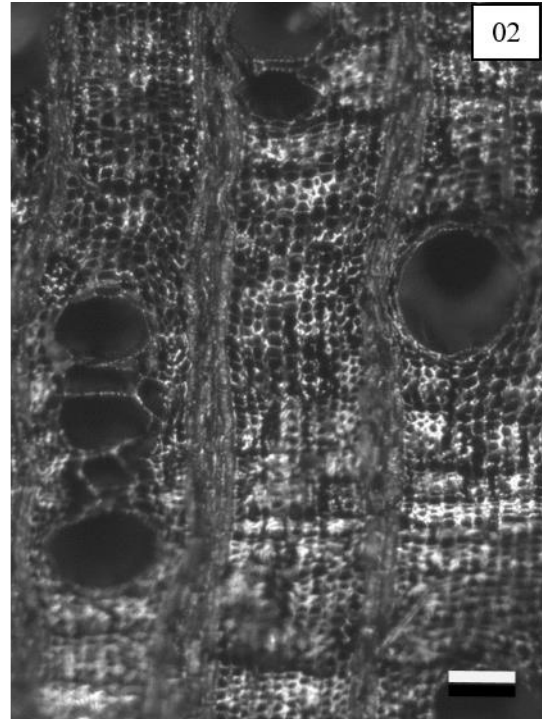
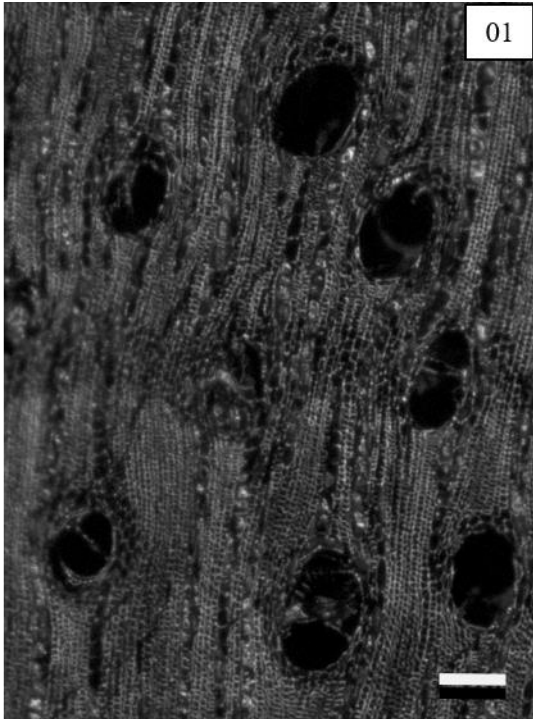
26 – INDETERMINADA 10

(Prancha 2.7, fig.26)

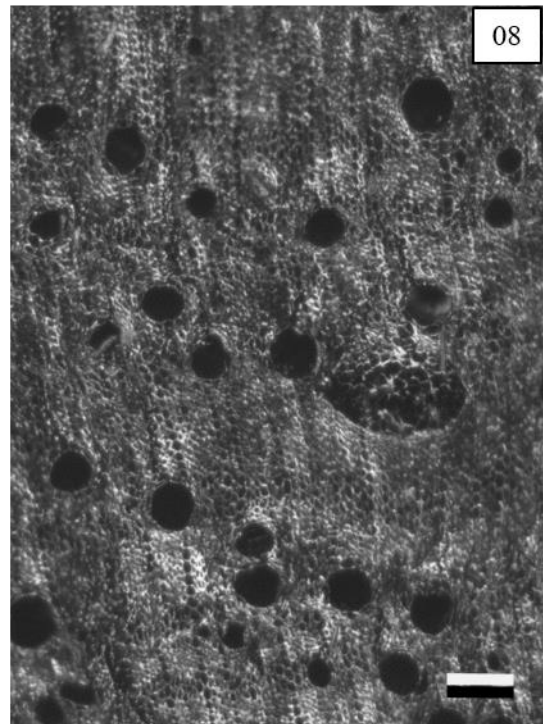
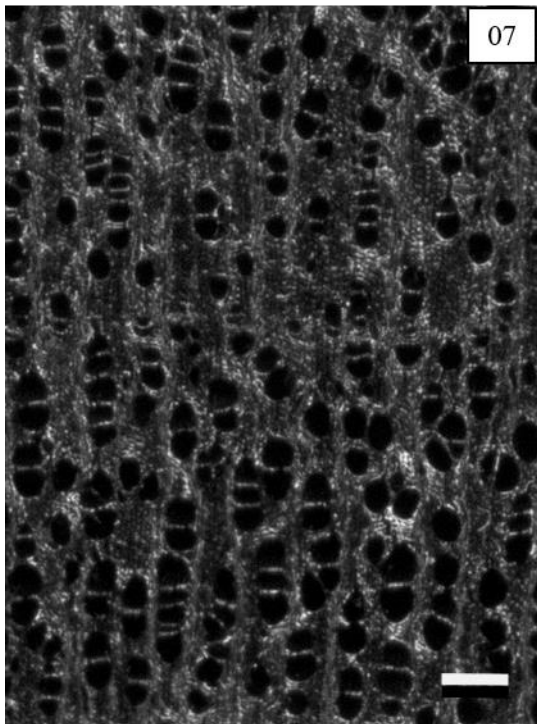
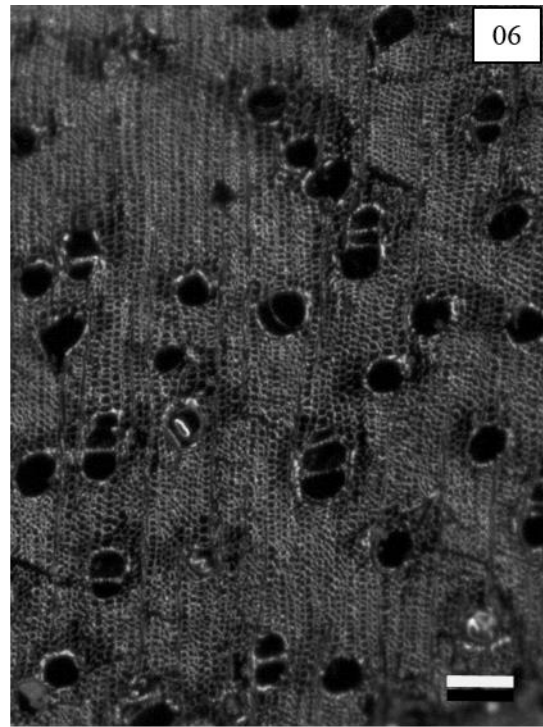
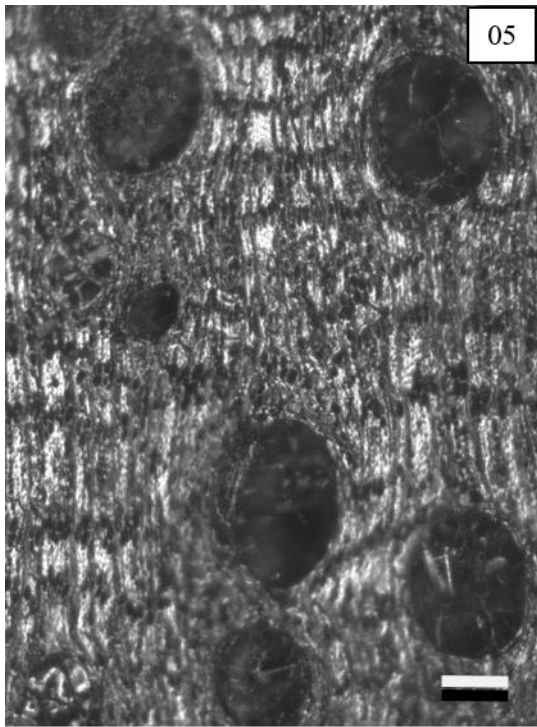
Camadas de crescimento presentes, delimitadas pelo parênquima marginal. **Vasos** com porosidade difusa; arranjo disperso; diâmetro tangencial 50-100 μm ; 5-20 vasos/ mm^2 , 20-40 vasos/ mm^2 ; tiloses escleróticas; placa de perfuração simples. **Parênquima axial** vasicêntrico, aliforme losangular, pouco confluyente. **Raios** 1-3 seriados; 4-12 raios/ mm ; com todas as células procumbentes. **Fibras** com parede celular espessa a muito espessa. **Estratificação** irregular em alguns elementos de vaso. **Espessamento espiralado** ausente. **Elementos secretores** ausentes. **Inclusões minerais** cristais prismáticos nas fibras e parênquima axial, mais de um cristal por célula [não sendo possível observar as subdivisões]. **Vitrificação** presente. **Rupturas** ausentes.

Tabela 2.2 – Porcentagem dos táxons analisados provenientes do Rio Grande do Sul

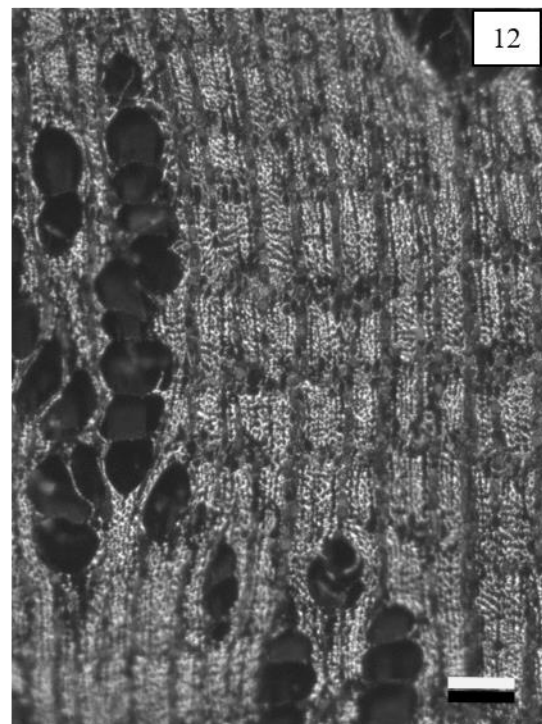
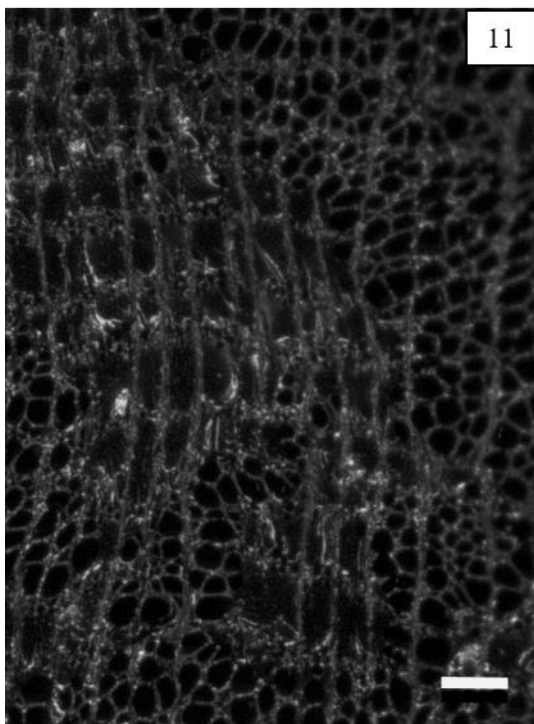
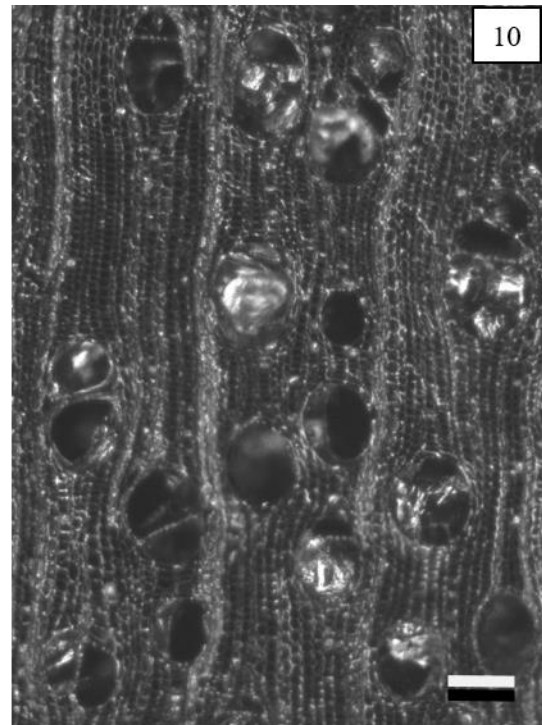
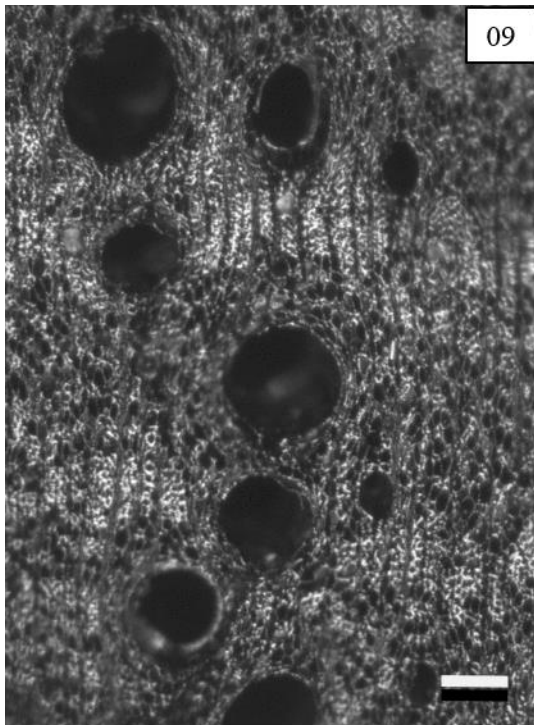
Famílias	%
Araliaceae (<i>Schefflera morototoni</i>)	2,5
Lauraceae RS	85
Rosaceae (<i>Prunus</i> sp.)	7,5
Indeterminada 10	5



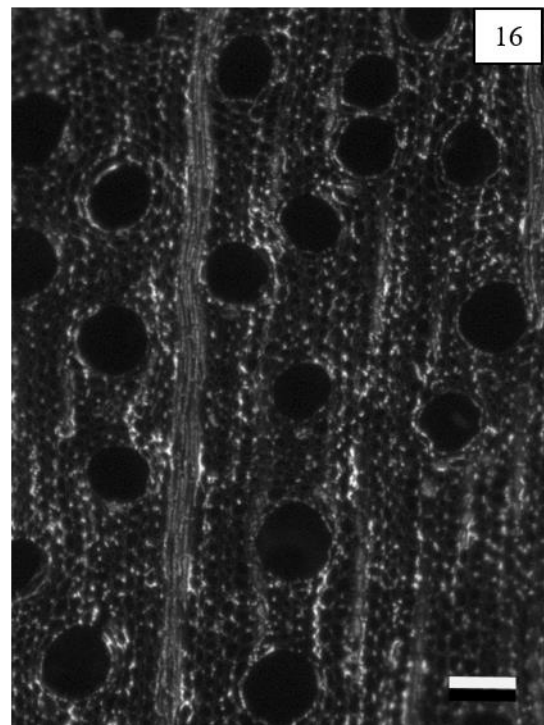
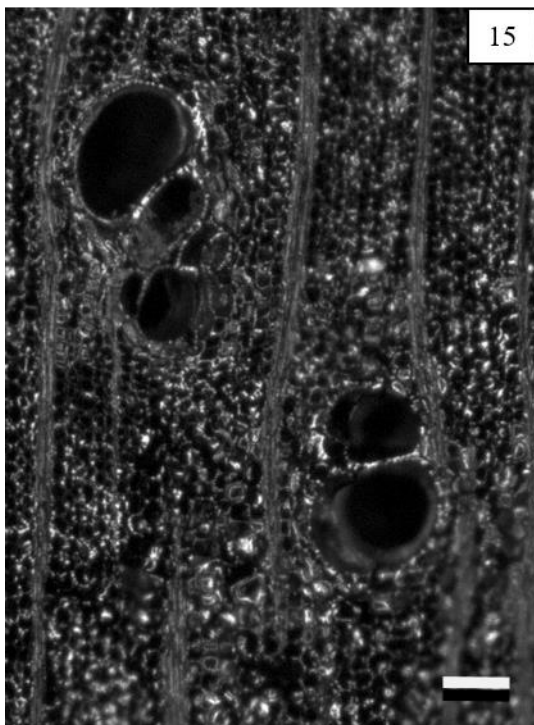
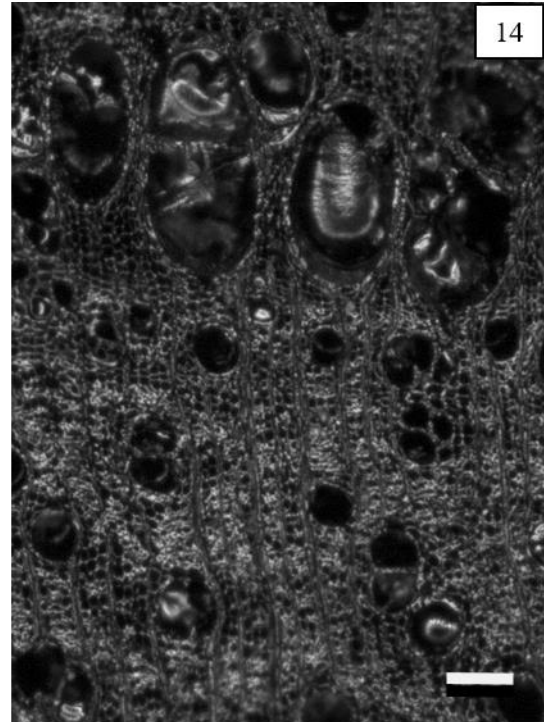
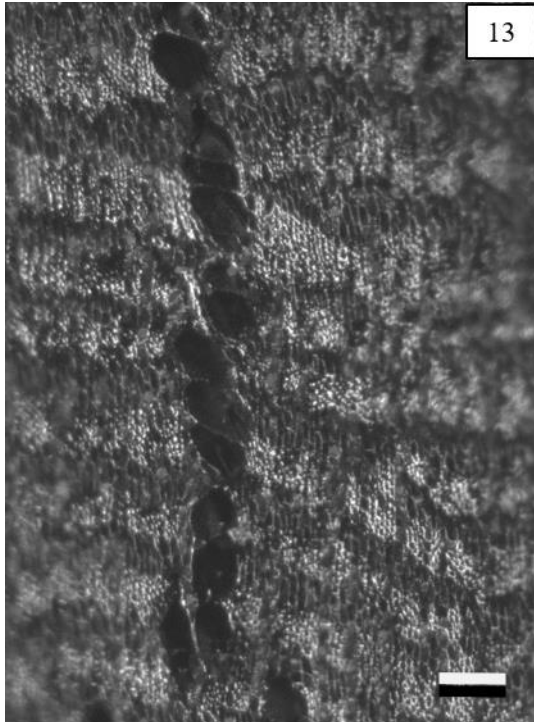
Prancha 2.1 – Anacardiaceae (01); Annonaceae (02); Bignoniaceae (03); Celastraceae (04).
Escala 100 μ m.



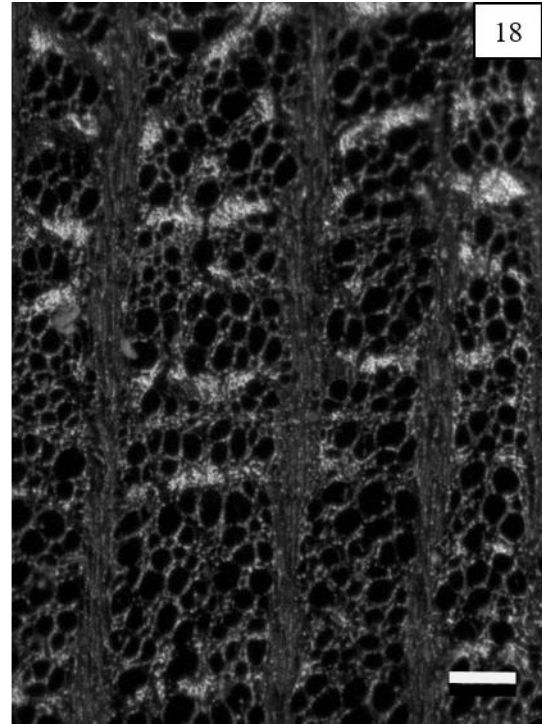
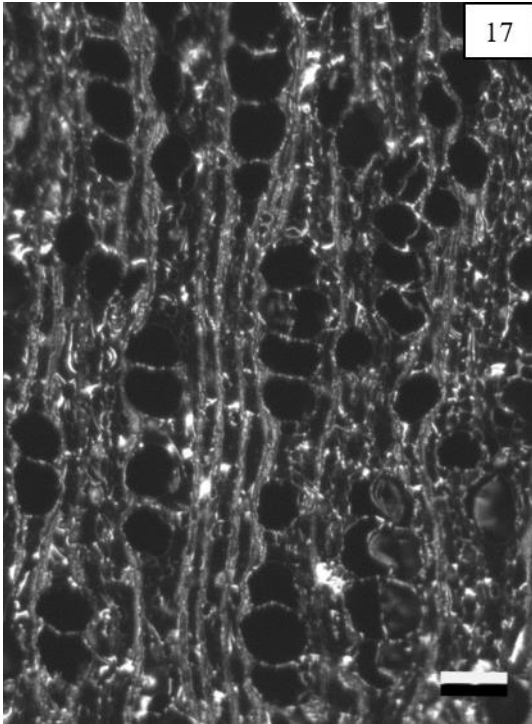
Prancha 2.2 – Chrysobalanaceae (05); Combretaceae (06); Lauraceae (07); Melastomataceae (08). Escala 100 µm.



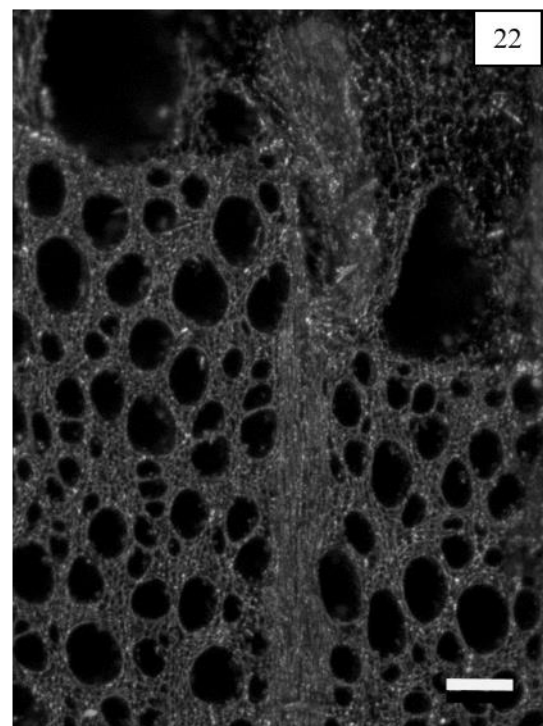
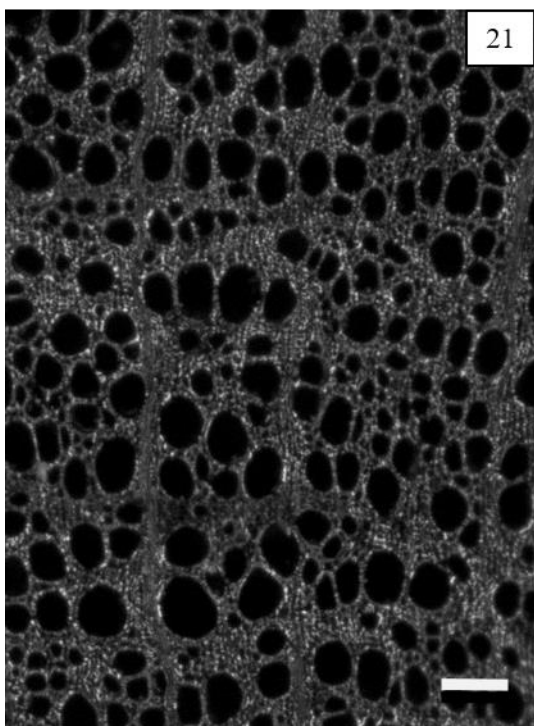
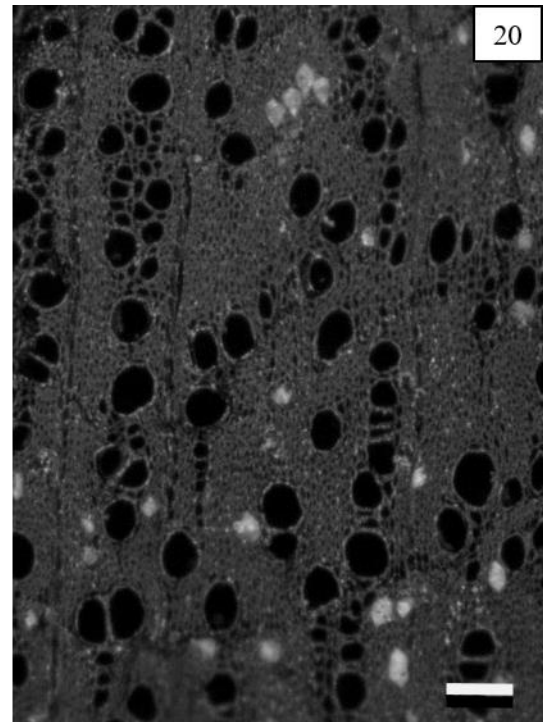
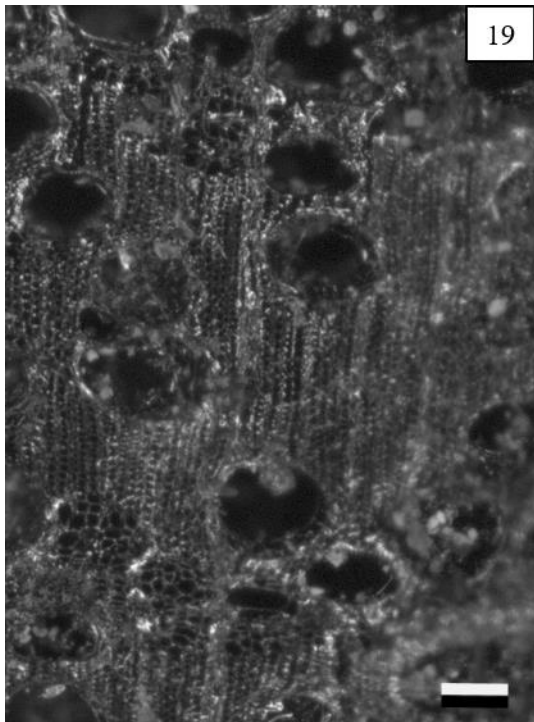
Prancha 2.3 – Myrtaceae (09); Rubiaceae (10); Sapotaceae A (11); Sapotaceae B (12). Escala 100 μ m.



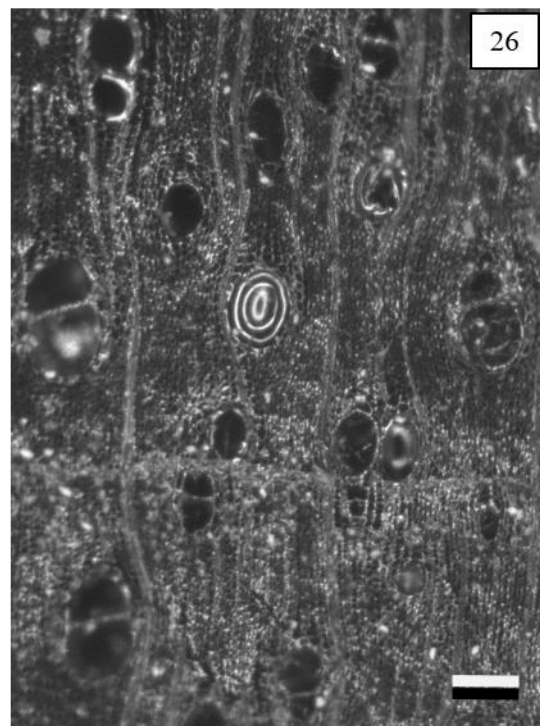
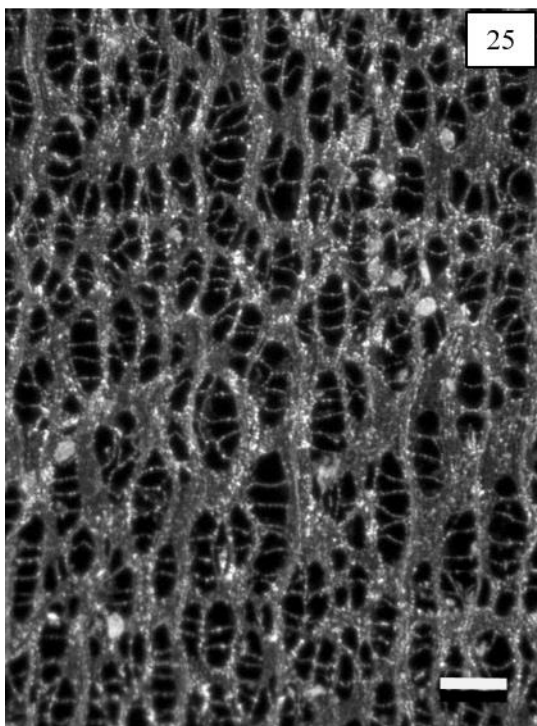
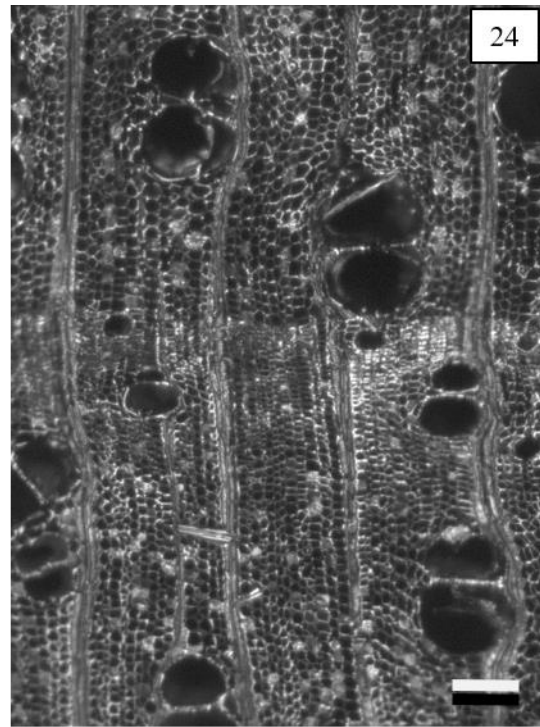
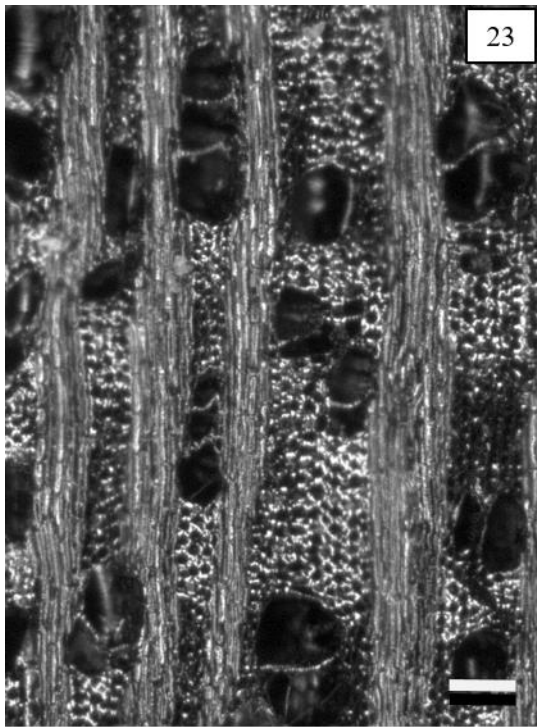
Prancha 2.4 – Sapotaceae C (13); Indeterminada 01 (14); Indeterminada 02 (15); Indeterminada 03 (16). Escala 100 μ m.



Prancha 2.5 – Indeterminada 04 (17); Indeterminada 05 (18). Escala 100 μ m.



Prancha 2.6 – Indeterminada 06, liana (19); Indeterminada 07, liana (20); Indeterminada 08, liana (21); Indeterminada 09, liana (22). Escala 100 μ m.



Prancha 2.7 – Araliaceae (23); Lauraceae RS (24); Rosaceae (25); Indeterminada 10 (26).
Escala 100 μ m.

DISCUSSÃO

Não foi possível justificar a elevada quantidade de amostras analisadas com o baixo número de táxons. Isto pode ser tanto relacionado à baixa diversidade de espécies na área quanto a metodologia desconhecida de coleta, ou seja, a forma como os agentes fiscalizadores coletaram a amostragem de carvões.

A relação entre a elevada quantidade de amostras analisadas e baixo número de táxons pode ser atribuída à área ou metodologia desconhecida de coleta, ou seja, ao treinamento recebido pelos agentes fiscalizadores para coletar os carvões. Foram analisadas 88 amostras de São Paulo e 40 do Rio Grande do Sul, tendo sido identificados 26 e quatro táxons respectivamente. Nessas amostras há várias partes das árvores, algo evidenciado pelo tamanho suficientemente grande das amostras que permitiu diferenciar entre partes de galhos e de tronco, como ocorreu com o material de São Paulo. Isto também pode ser observado pelas características anatômicas, ao passo que em um galho as dimensões celulares são menores do que no tronco; além disso, pode ocorrer de uma espécie possuir placas de perfuração escalariformes no lenho juvenil e placas de perfuração exclusivamente simples no lenho adulto (Metcalf; Chalk, 1950), conforme ocorreu nas amostras de Lauraceae do Rio Grande do Sul.

A bibliografia utilizada para identificação do material foi essencialmente: Metcalfe e Chalk (1950); Détienne e Jacquet (1983); Mainieri e Chimelo (1989); Welle e Détienne (1993); Barros *et al.* (1997, 2001, 2008); Richter e Dallwitz (2000-onwards); Miller e Détienne (2001); Mattos *et al.* (2003); Gonçalves (2006); Tortorelli (2009); Marchiori *et al.* (2009, 2010, 2011); Santos e Marchiori (2011); Sonsin *et al.* (2014); Scheel-Ybert e Gonçalves (no prelo).

A identificação do material ocorreu predominantemente a nível de famílias. Isto foi devido à grande homogeneidade dentro dos gêneros de algumas famílias, e.g. Annonaceae, Chrysobalanaceae, Lauraceae e Sapotaceae (e.g. METCALFE; CHALK, 1950; DÉTIENNE; JACQUET, 1983). Além disso, tivemos a limitação do equipamento, pois o estereomicroscópio utilizado possui menor aumento que um microscópio de luz refletida, assim, caracteres como pontoações intervasculares e determinados tipos de inclusões minerais não puderam ser visualizados devidamente. Vale a pena ressaltar que a anatomia da madeira de grande parte das espécies nativas ainda não foi descrita, isto pode ser evidenciado ao se comparar os dados da

Lista de Espécies da Flora do Brasil (2015) *versus* a plataforma do Inside Wood (2004-onwards) ou materiais científicos sobre anatomia de madeira nativa. Ademais, a estrutura anatômica da madeira é mais sensível às variações ecológicas do que aos dados sistemáticos (CARQUIST, 2001). Portanto, optamos por realizar uma identificação com o máximo de segurança possível, mesmo que tenhamos ampliado a magnitude de possibilidades.

A caracterização anatômica de muitos táxons foi semelhante ao trabalho de Barros *et al.* (2006), onde foi analisada a estrutura anatômica de espécies arbóreas da Reserva Biológica de Poço das Antas (RJ) – região de Mata Atlântica. Os autores analisaram espécies pertencentes a 14 famílias botânicas, sendo que seis delas (Anacardiaceae, Annonaceae, Bignoniaceae, Lauraceae, Myrtaceae e Rubiaceae) foram encontradas em São Paulo e Rio Grande do Sul; além disso, algumas amostras indeterminadas são semelhantes às espécies de grandes famílias, como Leguminosae. Neste trabalho prévio houve a incidência, acima de 80% das amostras analisadas, dos seguintes caracteres anatômicos: camadas de crescimento distintas, porosidade difusa, placas de perfuração simples, fibras com paredes delgadas a espessas, maior frequência de parênquima do tipo paratraqueal em diferentes arranjos e raios com frequência de 4 a 12/mm, com 1-3 células de largura; de uma forma geral os resultados encontrados foram coincidentes.

Também é possível notar a maior quantidade de parênquima axial em menores latitudes, ao passo que em latitudes maiores há menor quantidade (BAAS, 1982; ALVES; ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000); embora não tenha sido divulgado as coordenadas geográficas exatas dos locais de coleta, sabemos que o estado de São Paulo está localizado a uma latitude menor do que o Rio Grande do Sul (IBGE, 2014), e foi possível comprovar a alteração na quantidade de parênquima nas amostras analisadas de cada estado. Vale a pena ressaltar que outros fatores como regiões de déficit hídrico distintas e sazonalidade climática também alterarão as características anatômicas, entretanto, não foi possível analisá-las justamente por não se conhecer os locais de coleta.

A vitrificação ocorreu na grande maioria dos táxons analisados. Isto é devido à fusão celular resultante da carbonização, podendo ser identificada também pelo contraste entre a coloração clara e de tons escuros de cinza (MARGUERIE; HUNOT, 2007). Essa característica é importante de ser observada porque muitas vezes os

carvões podem apresentar muita vitrificação, formando uma massa não reconhecível e podendo confundir os fiscais ambientais. Entretanto, nos táxons analisados a vitrificação ocorreu num nível que ajudou a diferenciação celular, e.g. em Annonaceae (Prancha 2.1, fig. 02) e Chrysobalanaceae (Prancha 2.2, fig. 05), pois como afetou principalmente as fibras, foi possível diferenciar melhor o tipo de parênquima axial.

As rupturas decorrentes da carbonização muitas vezes podem atrapalhar o processo de identificação das estruturas (e.g. GONÇALVES *et al.*, 2014). Entretanto, elas não ocorreram na grande maioria das espécies analisadas; somente em algumas delas houve baixa incidência (raras); e apenas numa amostra de *Prunus* sp. ocorreram rupturas no plano de corte longitudinal. Desta forma, esse fenômeno não influenciou na identificação dos caracteres anatômicos.

CONCLUSÕES

Todo o material lenhoso disponível na área de coleta, como galhos e lianas, foi utilizado para produção de carvão. A baixa diversidade de táxons pode ter sido devida a área ou metodologia da coleta. Nenhum efeito decorrente da carbonização, como vitrificação e rupturas, prejudicou a identificação dos caracteres anatômicos. Embora a maior parte da identificação dos táxons tenha sido realizada ao nível de famílias, foi possível ter uma boa distinção do material. A anatomia dos carvões tem potencial para se tornar uma ferramenta eficiente na fiscalização, desde que haja treinamento dos profissionais responsáveis por este processo.

Referências Bibliográficas

ALVES, E.S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species I: Growth rings and vessels. **IAWA J** 21(1): 3-30. 2000.

BAAS, P. Systematic, phylogenetic and ecological wood anatomy – History and perspectives. In: P. Baas (ed.), **New perspectives in wood anatomy**, p. 23-58. 1982.

BARROS, C. F. *et al.* **Madeiras da Mata Atlântica - Anatomia do lenho de espécies ocorrentes nos remanescentes florestais do estado do Rio de Janeiro – Brasil**. v. I. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 86p. 1997.

_____; *et al.* **Madeiras da Mata Atlântica - Anatomia do lenho de espécies ocorrentes nos remanescentes florestais do estado do Rio de Janeiro – Brasil**. v. II. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 94p. 2001.

_____; *et al.* Tendências ecológicas na anatomia da madeira de espécies da comunidade arbórea da Reserva Biológica de Poço das Antas RJ. **Rodriguésia** 57:443-460. 2006.

_____; *et al.* 2008. **Madeiras da Mata Atlântica - Anatomia do lenho de espécies ocorrentes nos remanescentes florestais do estado do Rio de Janeiro – Brasil.** v. III. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 100p.

BRASIL. **Legislação brasileira sobre meio ambiente.** Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 7 v. Série legislação; n. 105. Caderno 4. 2013.

_____. **Balço Energético Nacional 2015: Ano base 2014.** Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE. 292 p. 2015.

CARLQUIST, S. **Comparative Wood Anatomy.** Springer Verlag. 448 p, 2001.

CARRIERI-SOUZA, M. C.; *et al.* Cadeias produtivas do carvão vegetal na agricultura familiar no sul do Brasil. **Desenvolv. Meio Ambiente** v. 31, p. 97-110, 2014.

DETIENNE, P.; JACQUET, P. **Atlas d'identification des bois de l'amazonie et des regions voisines.** Centre Technique Forestier Tropical, Nogent s/Marne. 640 p. 1983.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **State of the World's Forests - Enhancing the socioeconomic benefits from forests.** Rome. 119 p. 2014.

INSIDEWOOD. 2004-onwards. **INSIDEWOOD.** Disponível em: <<http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>>. Acesso em 01/12/2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa Político das Grandes Regiões.** 2014. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 07/12/2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **DOF: Informação estratégica para a gestão florestal no Brasil: período 2007-2009.** Brasília: Ibama. 56p. 2010.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS (IAWA). List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA J**, v. 10, n. 2, p. 219-332, 1989.

GONÇALVES, T. A. P. Contribuição ao conhecimento da anatomia do lenho das famílias Anacardiaceae, Annonaceae, Aquifoliaceae, Apocynaceae e Araliaceae, através de amostras carbonizadas do lenho de espécies brasileiras. 2006. 107 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

GONÇALVES, T.A.P. *et al.* A contribution to the identification of charcoal origin in Brazil I – Anatomical characterization of *Corymbia* and *Eucalyptus*. **Maderas, Cienc Tecnol**, v. 16, p. 323-336, 2014.

JOLY, C.A.; METZGER, J.P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, p. 459-473. 2014.

LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL. 2015. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 10/10/2015.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT, 419p. 1989.

- MARCHIORI, J.N.C.; MUNIZ, G.I.B.; SANTOS, S.R.dos. **Madeiras do Rio Grande do Sul - 1 - Descrição microscópica de 32 espécies**. Santa Maria: Anatterra Livros. 80p. 2009.
- _____; MUNIZ, G.I.B.; SANTOS, S.R.dos. **Madeiras do Rio Grande do Sul - 2 - Descrição microscópica de 35 espécies nativas**. 1. ed. Santa Maria: Anatterra. v. 1. 80p. 2010.
- _____; DENARDI, L.; SANTOS, S.R.dos. **Madeiras do Rio Grande do Sul - 3 - Descrição microscópica de 34 espécies nativas**. 1. ed. Santa Maria: Anatterra. v. 1. 80p. 2011.
- MARGUERIE, D.; HUNOT, J.Y. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in northwestern France. **J Archeol Sci**, v. 34, p. 1417-1433, 2007.
- MATTOS, P.P. *et al.* **Anatomia de madeiras do Pantanal Mato-Grossense: características microscópicas**. Colombo: Embrapa Florestas. 182p. 2003.
- MEIRA, A. M. de; BRITO, J. O.; RODRIGUEZ; L. C. E. Estudo de Aspectos Técnicos, Econômicos e Sociais da Produção de Carvão Vegetal no Município de Pedra Bela, São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.809-817, 2005.
- METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons: leaves, stem, and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses**. Oxford: Clarendon Press, 1500 p. 1950.
- MILLER, R. B.; DETIENNE, P. **Major timber trees of Guyana: wood anatomy**. Wageningen: Tropenbos International. 218 p. 2001.
- MITTERMEIER, R.A. *et al.* **Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. Washington, DC, USA: Cermex. 2005.
- RICHTER, H.G.; DALLWITZ, M.J. (2000 onwards). **Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval**. In English, French, German, and Spanish. Version: 25th June 2009. Disponível em <<http://delta-intkey.com>>. Acesso em 20/10/2015.
- SANTOS, S.R.dos; MARCHIORI, J.N.C. 2011. **Madeiras do Rio Grande do Sul - 4 - Descrição microscópica de 34 Mirtáceas nativas**. 1. ed. Santa Maria: Anatterra. v. 1. 80p.
- SCHEEL-YBERT, R.; GONÇALVES, T.A.P. 201x. **Pequeno Atlas Antracológico de Espécies Brasileiras**. Rio de Janeiro: Museu Nacional. 173 p. (no prelo)
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). 2010. Florestas do Brasil em resumo - 2010: dados de 2005-2010. Brasília. 152 p. ISBN 978-85-63269-07-2
- SONSIN, J.O. *et al.* 2014. **Atlas da Diversidade de Madeiras do Cerrado Paulista**. 1. ed. Botucatu: FEPAF. v. 1. 423p.
- TORTORELLI, L. A. 2009. **Maderas y Bosques Argentinos**. Ed. 2009 homenaje al In. Lucas A. Tortorelli en el centenario de su natalicio. Reproducción de su obra original y actualizaciones. 2ª ed. – Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora.
- WELLE, B.J.H. ter; DÉTIENNE, P. **Wood and timber**. 1993. Disponível em: <<http://delta-intkey.com/wood/pt>>. Acesso em: 28/07/2015.
- WHEELER, E.A. 2011. InsideWood - a web resource for hardwood anatomy. **IAWA Journal** 32 (2): 199-211.

CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA

– EUCALIPTOS –

Texto original traduzido do artigo: “Gonçalves TAP, AW Ballarin, S Nisgoski, GIB Muñiz. 2014. A contribution to the identification of charcoal origin in Brazil I: Anatomical characterization of *Corymbia* and *Eucalyptus*. Maderas Ciencia y Tecnologia 16(3): 323-336. DOI:10.4067/S0718-221X2014005000025.”

RESUMO

O carvão vegetal é um dos principais insumos florestais e o Brasil é o maior produtor mundial. A produção a partir de espécies nativas é estimada em 30-35% da produção total. Um dos principais problemas da indústria siderúrgica é o consumo de carvão vegetal, especialmente nos aspectos ambientais e sociais. Portanto, a utilização de espécies de reflorestamento deve ser ampliada. Considerando que a maioria das florestas energéticas no país é de espécies de eucalipto, o presente trabalho visou contribuir com a identificação da origem do carvão através de análises anatômicas de *Eucalyptus* e *Corymbia*. As amostras de madeira foram carbonizadas em forno mufla durante 7 h em temperatura máxima de 450° C. As análises anatômicas foram feitas de acordo com o IAWA Committee. Há poucos trabalhos com anatomia de carvão vegetal e as espécies analisadas não haviam sido caracterizadas. Os resultados dos carvões estão muito próximos de estudos anteriores em anatomia da madeira. Contudo, recomendamos a comparação de materiais com características similares devido ao aumento da acuidade visual, particularidades de cada material e a possíveis modificações que possam ocorrer na estrutura anatômica. Esta análise é uma ferramenta precisa para identificar a origem do carvão vegetal e poderá ajudar a garantir a sustentabilidade da sua cadeia produtiva.

Palavras-chave: Anatomia, carvão vegetal, eucaliptos, sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Sustentabilidade tem sido um tema em voga nos últimos anos, atraindo a atenção de pesquisadores, ambientalistas e líderes políticos, inclusive em eventos mundiais importantes, como a conferência "Rio +20". O desenvolvimento sustentável pode ser definido como aquele que deve "satisfazer às necessidades da geração presente, sem comprometer as necessidades das gerações futuras" (WCED, 1987). A aplicação deste conceito no setor florestal deve considerar a íntima relação entre conservação da natureza e manejo florestal baseado em avanços tecnológicos assim como aspectos econômicos e sociais.

Carvão vegetal é um dos principais insumos florestais e o Brasil é o maior produtor mundial (FAO, 2012). Esse biocombustível é muito importante para a matriz energética nacional e aproximadamente 90% da sua produção é destinada à indústria siderúrgica (BRASIL, 2012a). Quando o carvão é produzido de florestas plantadas, os créditos de carbono são gerados juntamente com os lucros de uma forma politicamente correta (ABRAF, 2012). Apesar disso, a cadeia produtiva de carvão vegetal ainda tem aspectos negativos, e.g.: (i) trabalhadores não especializados, incluindo as crianças, muitas vezes trabalhando em condições análogas à de escravidão; e (ii) o corte ilegal de florestas nativas (CARNEIRO, 2008; IOS, 2011a, b).

A produção de carvão vegetal de espécies nativas no Brasil é estimada em 30-35% da produção total (IBGE, 2010; ABRAF, 2012). Considerando o tamanho do país e as dificuldades do controle eficaz do desmatamento, acreditamos que a quantidade de carvão produzido a partir da derrubada ilegal de espécies nativas seja ainda maior. De fato, um dos principais problemas da indústria siderúrgica é a produção de carvão vegetal. Na prática, não há nenhuma seleção de espécies nativas para a produção de carvão, praticamente todas as espécies vão para os fornos de carbonização. Isto é problemático em termos de aspectos ambientais e sociais, de modo que o uso de espécies de reflorestamento deve ser ampliado (IOS, 2011b; BRASIL, 2012b).

Em 2011, o Brasil teve 4.873.952 ha de florestas plantadas de eucaliptos, o setor siderúrgico consumiu 18,4% deste plantio para a produção de carvão (ABRAF, 2012). Em geral, o termo "eucalipto" é usado como referência para aproximadamente 900

espécies distribuídas em duas linhagens principais: (i) *Angophora* e *Corymbia*; (ii) *Eucalyptus* "sensu stricto" -, com os subgêneros *Eudesmia*, *Symphyomyrtus* e *Monocalyptus*; sendo os gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* os mais abundantes, com mais de 700 e cerca de 130 espécies, respectivamente (HILL; JOHNSON, 1995; ROZEFELDS, 1996; EUCLID, 2006).

O presente trabalho teve como objetivo contribuir para o controle da produção de carvão vegetal de florestas nativas no Brasil através da caracterização anatômica de carvão feito a partir de espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia*. As justificativas são: (i) a necessidade de aumentar o uso de espécies plantadas para a produção de carvão vegetal; (ii) o fato da maioria das florestas energéticas no Brasil serem plantadas com eucalipto; (iii) a importância de se controlar a produção ilegal de carvão vegetal de espécies nativas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras de madeira de *Corymbia* spp. e *Eucalyptus* spp. foram doadas pela Prema – empresa florestal situada na cidade de Rio Claro, estado de São Paulo. A Tabela 1 mostra os dados sobre as espécies estudadas.

Tabela 3.1 – Dados das espécies

Espécies	Origem	Ano Plantio
<i>C. citriodora</i> (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson	Floresta Estadual de Pederneiras – SP (22°22'S 40°44'W)	1966
<i>C. maculata</i> (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson	Floresta Estadual de Rio Claro – SP (22°25'S 47°33'W)	1975
<i>E. dunnii</i> Maiden	Reflorestamento Klabin, Telêmaco Borba – PR (24°16'S 50°31'W)	1987- 1990
<i>E. microcorys</i> F. Muell.	Floresta Estadual de Rio Claro – SP (22° 25'S 47° 33'W)	1975
<i>E. saligna</i> Sm.	Fazenda Mariana, Araras – SP (22°17'S 47°15'W)	1960
<i>E. tereticornis</i> Sm.	Fazenda Santa Elisa, Campanha – MG (22° 25' S 47°33'W)	1970
<i>E. viminalis</i> Labill.	Fazenda Santa Maria, Guarapuava – PR (25°07'S 51°30'W)	1990

Para a carbonização, retiramos partes aleatórias das tábuas e seccionamos as amostras de $\sim 3-5 \times 10^{-6} \text{m}^3$. A amostragem aleatória visa simular as condições reais de identificação do carvão no campo. As amostras foram embrulhadas em papel alumínio e carbonizadas em forno mufla (Gonçalves et al. 2012). O processo de carbonização durou 5 h, com uma temperatura final de 450°C e velocidade de aquecimento de $1,66^\circ \text{C}/\text{min}$; as amostras foram mantidas à temperatura final durante 2h (Muñiz et al. 2012). As amostras de carvão resultantes foram quebradas manualmente e analisadas em estereomicroscópio Zeiss Discovery V12. As imagens das amostras de carvão e as mensurações das características anatômicas foram processadas pelo programa Axio Vision Release 4.7. As micrografias dos carvões foram feitas em microscópio eletrônico de varredura (MEV), para isso os carvões foram fixados com fita dupla face condutora de carbono em stubs tradicionais para MEV. As imagens foram obtidas diretamente do material, sem metalização, num microscópio tabletop Hitachi TM-1000.

As descrições e mensuração dos carvões seguiram as recomendações do IAWA Committee (1989). O diâmetro tangencial dos vasos (mm) foi calculado a partir de 25 medições; 10 medidas para frequência de vasos (vasos/ mm^2), frequência de raios (raios/mm), largura e altura dos raios (μm). Os resultados são apresentados pelos valores médios (mínimo-máximo), desvio padrão e unidade.

As micrografias dos carvões estão na sequência dos planos de corte transversal (a), longitudinal tangencial (b) e radial (c). Setas foram usadas para mostrar algumas rupturas.

RESULTADOS

A caracterização anatômica do carvão é apresentada para cada espécie na sequência. Todas as imagens estão após as descrições, situadas próximas para facilitar a comparação entre as espécies. As características anatômicas de maior importância estão resumidas na tabela 2.

Corymbia citriodora (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson

(Prancha 3.1, Figuras 1a, 1b, 1c)

Camadas de crescimento: presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente.

Vasos: difusos; padrão diagonal; solitários e múltiplos; 133 (83-212) 29 μm ; 12 (8-19) 4 vasos/ mm^2 ; tiloses presentes; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares simples, guarnecidas.

Parênquima axial: maioria vasicêntrico, confluyente, difuso e difuso em agregados, tendência a formar de linhas, poucos aliforme losangular; 4-8 células por série.

Raios: 1-2-seriado; 23 (11-38) 8 μm largura; 193 (120-317) 60 μm altura; 12 (7-17) 2 raios/ mm ; corpo formado por todas as células procumbentes.

Fibras: não septadas; parede celular muito fina a espessa.

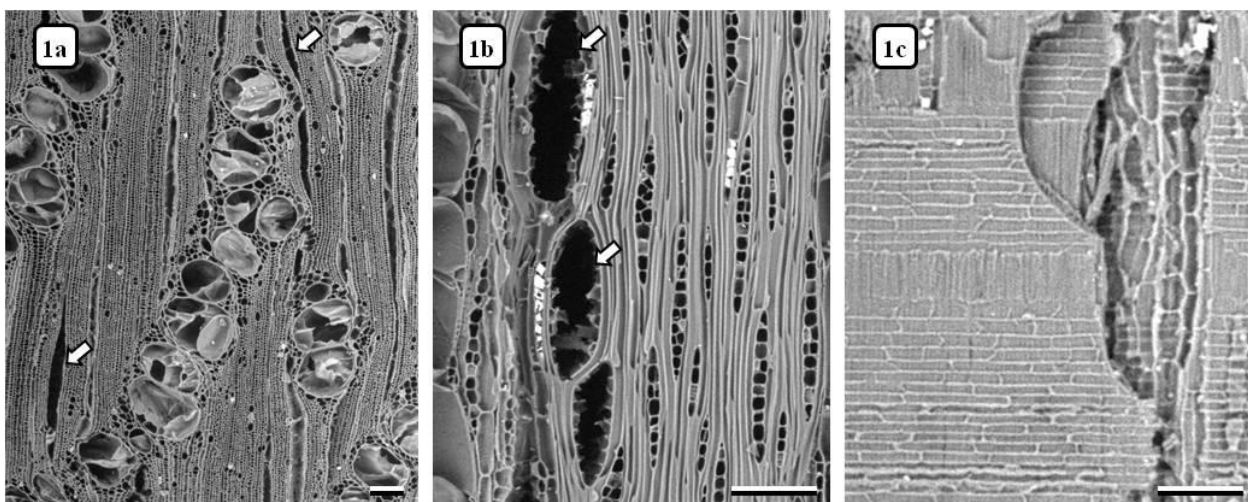
Inclusões minerais: cristais prismáticos em células subdivididas do parênquima axial células e nas fibras.

Rupturas: presentes nos raios.

Prancha 3.1 - *Corymbia citriodora*

Figuras 1a, 1b, 1c. Fotomicrografias dos carvões.

Setas mostram as rupturas. Seções (a) Transversal, (b) Longitudinal Tangencial, (c) Longitudinal Radial. Escala: 100 μm .



Corymbia maculata (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson

(Prancha 3.2, Figuras 2a, 2b, 2c)

Camadas de crescimento: presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente.

Vasos: difusos; padrão diagonal; solitários e múltiplos; 149 (102-202) 25 μm ; 11 (8-16) 2 vasos/ mm^2 ; tiloses presentes; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares simples, guarnecidas.

Parênquima axial: pouco distinto, vasicêntrico, difuso, pouco confluyente e aliforme losangular; 3-7 células por série.

Raios: maioria unisseriado, poucos localmente 2-seriados; 15 (12-18) 2 μm largura; 169 (100-237) 47 μm altura; 14 (8-17) 2 raios/ mm ; com o corpo formado por todas as células procumbentes, ou com o corpo formado por células procumbentes e 1 a 2 fileiras marginais de eretas e/ou quadradas células.

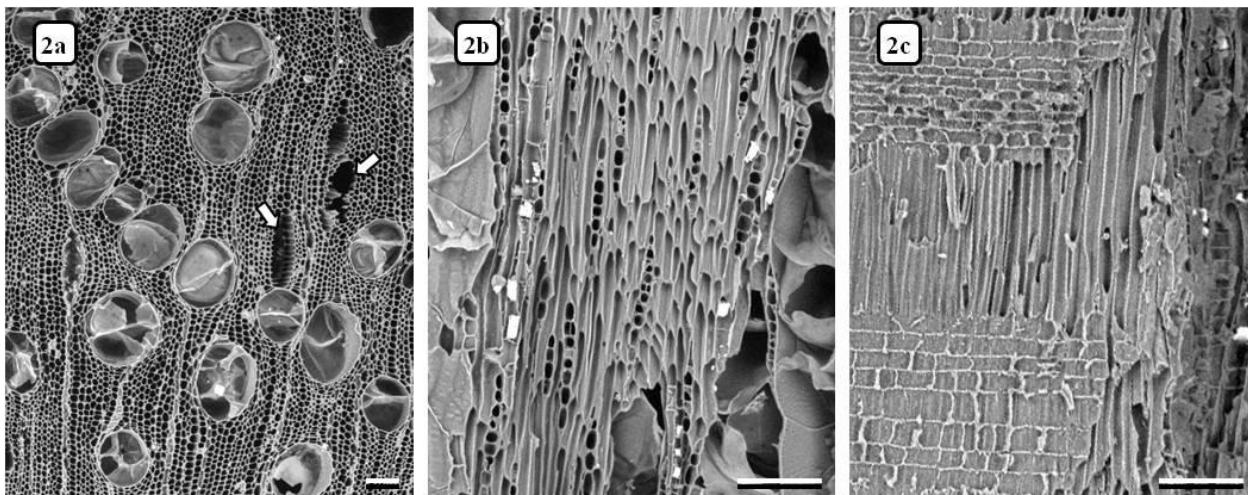
Fibras: não septadas; parede celular fina a muito espessa.

Inclusões minerais: cristais prismáticos em células subdivididas do parênquima axial.

Rupturas: presentes nos raios e nas fibras; especialmente no cerne.

Prancha 3.2 - *Corymbia maculata*

Figuras 2a, 2b, 2c. Fotomicrografias dos carvões.
Setas mostram as rupturas. Seções (a) Transversal, (b) Longitudinal Tangencial, (c) Longitudinal Radial. Escala: 100 μm .



Eucalyptus dunnii Maiden

(Prancha 3.3, Figuras 3a, 3b, 3c)

Camadas de crescimento: presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente.

Vasos: difusos; padrão diagonal; exclusivamente solitários (90% ou mais); 112 (70-173) 23 μm ; 11 (8-20) 9 vasos/ mm^2 ; tiloses presentes; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares simples, guarnecidas.

Parênquima axial: abundante, vasicêntrico, confluyente, difuso e difuso em agregados; 2-7 células por série.

Raios: 1-2-seriados, maioria 2-seriados; 15 (10-23) 4 μm largura; 173 (105-311) 59 μm altura; 14 (10-18) 2 raios/ mm ; corpo formado por todas as células procumbentes.

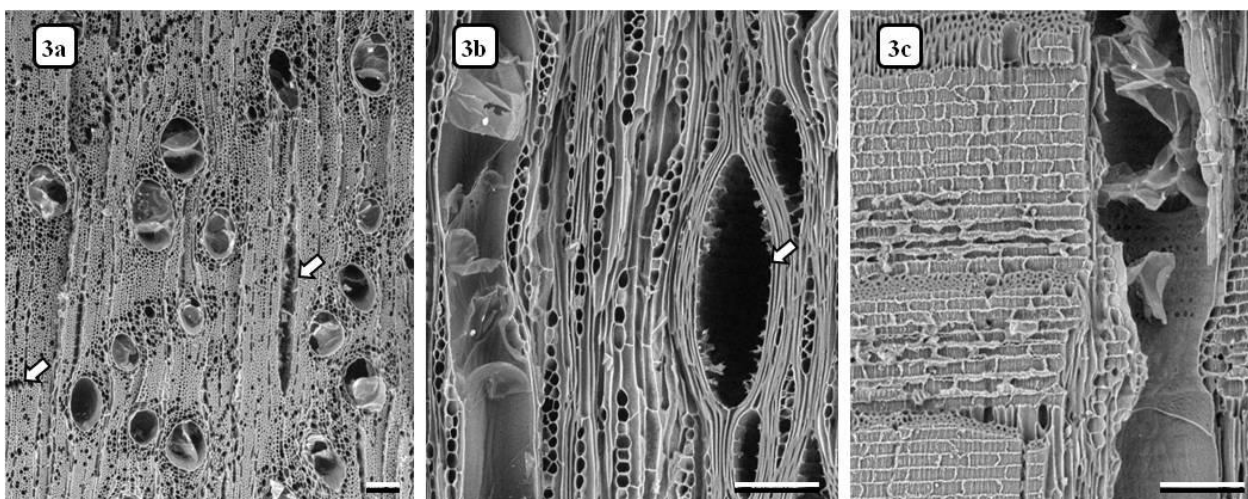
Fibras: não septadas; parede celular fina a muito espessa.

Inclusões minerais: poucos cristais prismáticos em tiloses e em células subdivididas do parênquima axial.

Rupturas: presentes nos raios e em poucas células do parênquima axial; especialmente no alburno.

Prancha 3.3 - *Eucalyptus dunnii*

Figuras 3a, 3b, 3c. Fotomicrografias dos carvões.

Setas mostram as rupturas. Seções (a) Transversal, (b) Longitudinal Tangencial, (c) Longitudinal Radial. Escala: 100 μm .

Eucalyptus microcorys F. Muell.

(Prancha 3.4, Figuras 4a, 4b, 4c)

Camadas de crescimento: presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente.

Vasos: difusos; padrão diagonal e radial; solitários e múltiplos; 121 (119-168) 26 μm ; 17 (11-22) 15 vasos/ mm^2 ; raras tiloses; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares simples, guarnecidas.

Parênquima axial: vasicêntrico, confluyente, aliforme losangular, difuso e difuso em agregados; 4-8 células per série.

Raios: 1-2-seriado, maioria unisseriado; 14 (9-18) 3 μm largura; 208 (147-275) 47 μm altura; 16 (11-20) 2 raios/ mm ; corpo formado por todas as células procumbentes.

Fibras: não septadas; parede celular espessa a muito espessa.

Inclusões minerais: cristais prismáticos em células subdivididas do parênquima axial, mais de um cristal por célula.

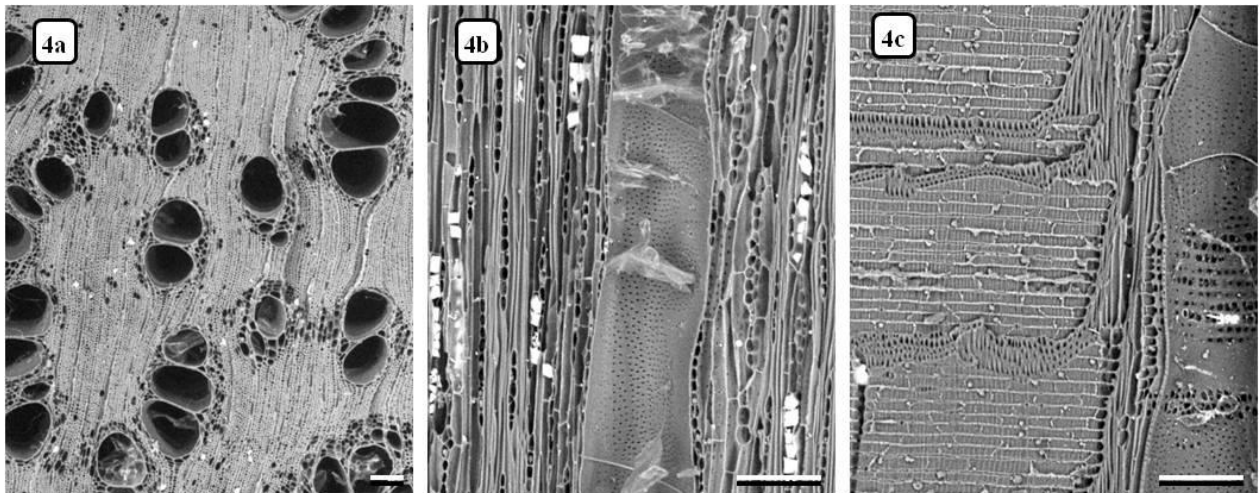
Rupturas: ausentes.

Prancha 3.4 - *Eucalyptus microcorys*

Figuras 4a, 4b, 4c. Fotomicrografias dos carvões.

Seções (a) Transversal, (b) Longitudinal Tangencial, (c) Longitudinal Radial.

Escala: 100 μm .



Eucalyptus saligna Sm.

(Prancha 3.5, Figuras 5a, 5b, 5c)

Camadas de crescimento: presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente.

Vasos: difusos; padrão diagonal, pouco distinto em microscopia; exclusivamente solitários (90% ou mais); 161 (110-212) 30 μm ; 11 (5-14) 7 vasos/ mm^2 ; tiloses presentes; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares simples, guarnecidas.

Parênquima axial: maioria vasicêntrico, mas também confluyente, difuso e difuso em agregados, pouco aliforme losangular; 3-8 células per série.

Raios: 1-2-seriado; 33 (18-46) μm largura; 172 (130-224) μm altura; 13 (9-17) 2 raios/ mm ; all células procumbentes.

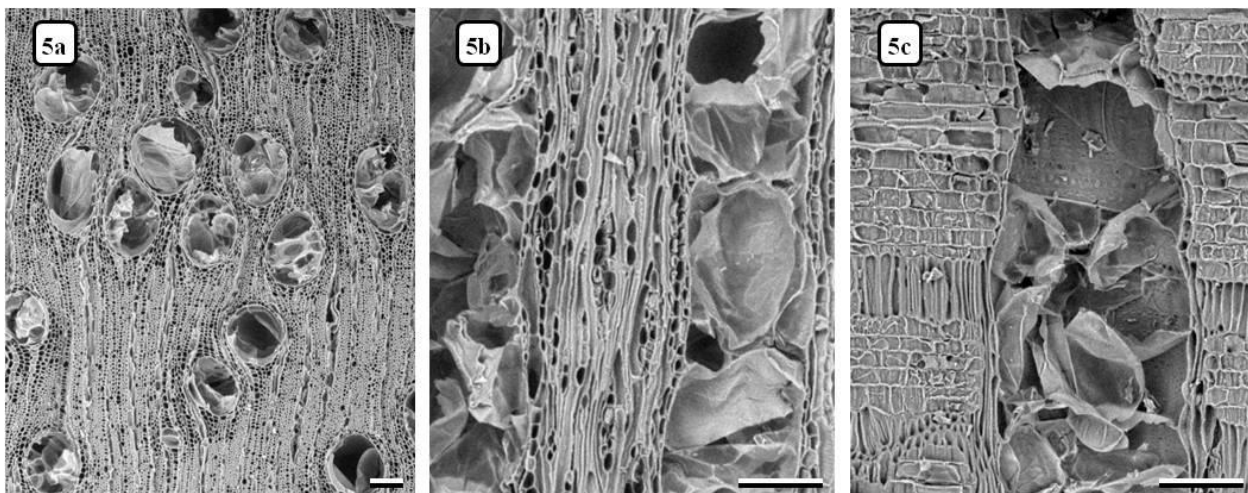
Fibras: não septadas; parede celular espessa a muito espessa.

Inclusões minerais: raros cristais prismáticos.

Rupturas: ausentes.

Prancha 3.5 - *Eucalyptus saligna*

Figuras 5a, 5b, 5c. Fotomicrografias dos carvões.
Seções (a) Transversal, (b) Longitudinal Tangencial, (c) Longitudinal Radial.
Escala: 100 μm .



Eucalyptus tereticornis Sm.

(Prancha 3.6, Figuras 6a, 6b, 6c)

Camadas de crescimento: presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente.

Vasos: difusos; padrão diagonal; exclusivamente solitários (90% ou mais); 166 (124-218) 27 μm ; 9 (5-13) 2 vasos/ mm^2 ; tiloses presentes; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares simples, guarnecidas.

Parênquima axial: vasicêntrico, confluyente, difuso e difuso em agregados, pouco aliforme losangular; 4-8 células per série.

Raios: 1-3-seriado, maioria 2-seriado; 34 (23-44) 7 μm largura; 176 (132-224) 35 μm altura; 12 (6-15) 2 raios/ mm ; corpo formado por todas as células procumbentes.

Fibras: não septadas; parede celular espessa a muito espessa.

Inclusões minerais: raros cristais prismáticos.

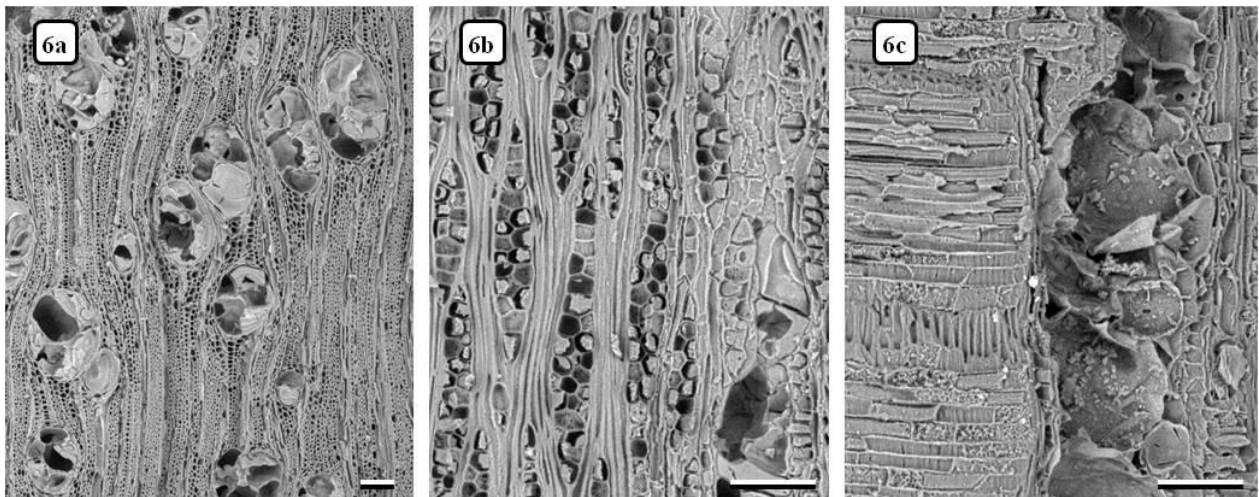
Rupturas: raras nos raios.

Prancha 3.6 - *Eucalyptus tereticornis*

Figuras 6a, 6b, 6c. Fotomicrografias dos carvões.

Seções (a) Transversal, (b) Longitudinal Tangencial, (c) Longitudinal Radial.

Escala: 100 μm .



Eucalyptus viminalis Labill.

(Prancha 3.7, Figuras 7a, 7b, 7c)

Camadas de crescimento: presentes, delimitadas por fibras do lenho tardio de paredes espessas e achatadas radialmente.

Vasos: difusos; padrão diagonal; exclusivamente solitários (90% ou mais); 147 (97-187) 20 μm ; 10 (5-13) 2 vasos/ mm^2 ; tiloses presentes; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares simples, guarnecidas.

Parênquima axial: poucas células, vasicêntrico, confluyente, difuso e difuso em agregados, poucos, pouco aliforme losangular; 3-7 células por série.

Raios: unisseriado; 19 (16-21) 2 μm largura; 213 (121-312) 60 μm altura; 12 (7-17) 4 raios/ mm ; corpo formado por todas as células procumbentes.

Fibras: não septadas; parede celular fina a espessa.

Inclusões minerais: raros cristais prismáticos.

Rupturas: presentes nos raios.

Prancha 3.7 - *Eucalyptus viminalis*

Figuras 7a, 7b, 7c. Fotomicrografias dos carvões.
Setas show the rupturas. Seções (a) Transversal, (b) Longitudinal Tangencial, (c) Longitudinal Radial. Escala: 100 μm .

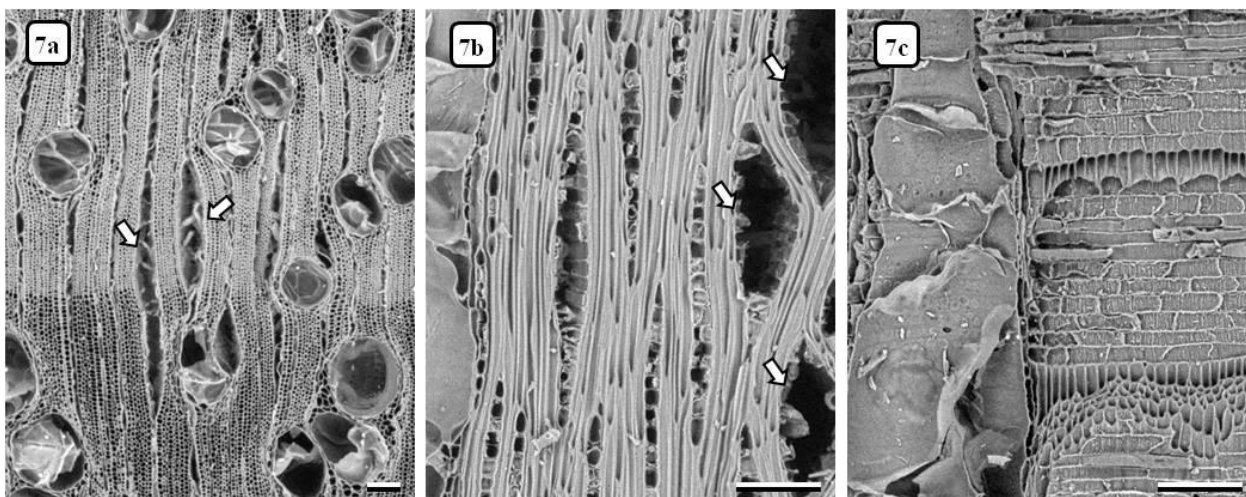


Tabela 3.2 - Características anatômicas das espécies analisadas

Caracteres Espécie	CC	Vasos			Parênquima axial			Raios		Fibras		MI	Rp	
		Ø	Freq/mm ²	Ti	Tipo	N ^o Cél/s	Ser	Tipo	L	H	Freq/mm			PC
<i>C. citriodora</i>	✓	133 (83-212)	12 (8-19)	✓	vasicêntrico, confluyente, difuso, difuso em agregados	4-8	1-2	A	23 (11-38)	193 (120-317)	12 (7-17)	1-2	✓	✓
<i>C. maculata</i>	✓	149 (102-202)	11 (8-16)	✓	pouco distinto, vasicêntrico, difuso	3-7	1-(2)	A/B	15 (12-18)	169 (100-237)	14 (8-17)	2-3	✓	✓
<i>E. dunnii</i>	✓	112 (70-173)	11 (8-20)	✓	vasicêntrico, confluyente, difuso e difuso em agregados	2-7	1-2	A	15 (10-23)	173 (105-311)	14 (10-18)	2-3	✓	✓
<i>E. microcorys</i>	✓	121 (119-168)	17 (11-22)	(✓)	vasicêntrico, confluyente, aliforme losangular, difuso e difuso em agregados	4-8	1-2	A	14 (9-18)	208 (147-275)	16 (11-20)	2-3	✓	-
<i>E. saligna</i>	✓	161 (110-212)	11 (5-14)	✓	vasicêntrico, confluyente, difuso e difuso em agregados	3-8	1-2	A	33 (18-46)	172 (130-224)	13 (9-17)	2-3	(✓)	-
<i>E. tereticornis</i>	✓	166 (124-218)	9 (5-13)	✓	vasicêntrico, confluyente, difuso e difuso em agregados	4-8	1-3	A	34 (23-44)	176 (132-224)	12 (6-15)	2-3	(✓)	(✓)
<i>E. viminalis</i>	✓	147 (97-187)	10 (5-13)	✓	vasicêntrico, confluyente, difuso e difuso em agregados	3-7	1	A	19 (16-21)	213 (121-312)	12 (7-17)	2	(✓)	✓

Legenda: ✓ – presença; (✓) – raro; (-) – ausência; **CC** – camadas de crescimento; **Vasos** – Ø – diâmetro tangencial, Freq/mm² – vasos por mm², Ti – tiloses; **Parênquima axial** – N^o Cél/s – número de células por série; **Raios** – Ser – largura (número de células), Tipo – A (todas as células procumbentes), B (corpo de células procumbentes com 1 a 2 fileiras marginais de células eretas e quadradas), L – largura (µm), H – altura (µm); **Fibras** – PC – espessura da parede celular (1 – muito fina, 2 – fina a espessa, 3 – muito espessa); **MI** – inclusões minerais; **Rp** – rupturas.

DISCUSSÃO

Não foram encontrados trabalhos anteriores com caracterização anatômica de carvão vegetal das espécies analisadas neste trabalho. Os poucos trabalhos com amostras de carvão de *Eucalyptus* spp., identificaram esse material com o foco em paleoambiente (e.g. HOPKINS *et al.* 1990).

A estrutura do carvão normalmente mantém todas as características qualitativas da anatomia da madeira. Podendo apresentar algumas mudanças, especialmente em valores quantitativos (PRIOR; GASSON, 1993; GONÇALVES, 2010). Num estudo sobre o efeito da carbonização da estrutura de madeira de cinco espécies do cerrado brasileiro, as mudanças quantitativas encontradas foram: (i) redução do diâmetro tangencial dos vasos, (ii) aumento da frequência dos vasos, e (iii) aumento da frequência dos raios. Mas apenas a redução do diâmetro tangencial dos vasos foi estatisticamente significativa, corroborando com bases fortes para a identificação de carvão vegetal (GONÇALVES *et al.*, 2012).

Os resultados de anatomia do carvão das espécies estudadas são muito próximos de estudos prévios de anatomia da madeira, tanto em características qualitativas quanto quantitativas. Nós comparamos nossas espécies com outras usando a literatura especializada na base de dados do Inside Wood. As principais diferenças foram: (i) camadas de crescimento indistintas ou ausentes – *C. citriodora* (DADSWELL, 1972), *C. maculata* (KRIBS, 1968; DADSWELL, 1972), *E. microcorys* (KRIBS, 1968); (ii) vasos exclusivamente solitários – *E. microcorys* (KRIBS, 1968; ALFONSO, 1987); (iii) largura dos raios exclusivamente unisseriado – *E. saligna* (ALZATE, 2009); (iv) largura dos raios de 1 a 3 células – *C. maculata* (KRIBS, 1968; DADSWELL, 1972), *E. viminalis* (DADSWELL, 1972; AMMON, 2011). Essas diferenças são comuns nestes gêneros (METCALFE; CHALK, 1950; CARLQUIST, 2001), especialmente no caso das camadas de crescimento, em função da influência de fatores ecológicos, particularmente a disponibilidade hídrica (CARLQUIST, 2001; SCHWEINGRUBER, 2007). Entretanto, recomendamos a comparação de materiais de características semelhantes, evidenciando a questão da acuidade visual, especialmente em se tratando das particularidades de cada material e alterações na sua estrutura que podem vir a acontecer, como por exemplo, as rupturas.

As rupturas estiveram presentes nos raios de *C. citriodora*, *C. maculata*, *E. dunnii*, *E. tereticornis* e *E. viminalis*. Também ocorreram poucas rupturas nas células

do parênquima axial de *E. dunnii*. Um estudo sobre carvões de *Quercus alba* L. caracterizou as rupturas radiais como a segunda característica mais marcante no carvão, assemelhando-se a madeira em forma de colmeia (MCGINNES *et al.*, 1971). Em carvões de *Q. variabilis* BL. preparado em temperaturas diferentes, a aparência de colmeia se tornou mais severa com o aumento da temperatura. Uma das explicações para esse comportamento é que o aumento da temperatura de carbonização resulta num afinamento da parede celular, contrações volumétricas e possíveis rupturas. Isto ocorreu especialmente nos raios multisseriados (KIM; HANNA, 2006). Os raios multisseriados em *Q. robur* também apresentaram rupturas; eles parecem ter “explodido” como se uma liberação repentina de pressão tenha ocorrido nesta região de tecido relativamente fraco (BRAADBAART; POOLE, 2008). O mesmo não ocorreu em *Pinus sylvestris*; os autores acreditam que isto ocorreu provavelmente devido aos raios unisseriados (BRAADBAART; POOLE, 2008). Nossos resultados não demonstraram diferença entre os raios uni e multisseriados, pois as rupturas ocorreram em ambos os casos. Amostras de carvões de *Mimosa tenuiflora* e *M. ophthalmocentra* feitos a 400° C e temperaturas superiores, apresentaram rupturas especialmente entre as fibras; uma especulação para esse comportamento seria a presença de cristais, que podem ter influenciado essas rupturas (DIAS LEME *et al.*, 2010). Nós encontramos rupturas somente nas fibras de *Corymbia maculata*, mas não foi possível associá-las à presença de cristais. A maioria das espécies apresentou rupturas especialmente nos raios. Há a necessidade de mais estudos e outras correlações para a compreensão da ocorrência de rupturas em certos carvões. Isto é particularmente importante na identificação de carvões, porque muitas vezes a amostra pode estar tão danificada que se torna difícil a sua identificação.

CONCLUSÕES

Há uma forte necessidade de associar a produção de carvão com a Conservação da Natureza e da redução do desmatamento. O presente trabalho teve como objetivo contribuir para a fiscalização da produção de carvão vegetal de florestas nativas, facilitando a separação dos eucaliptos das demais espécies. Considerando a homogeneidade da anatomia da madeira de *Corymbia* e *Eucalyptus*, nós não visamos fazer a distinção entre os gêneros. Nosso objetivo foi mostrar diferentes espécies de

eucaliptos e como diferenciar essas árvores australianas das brasileiras. Defendemos o uso sustentável de carvão vegetal. Isto pode ocorrer não apenas pelo uso de espécies de eucalipto, mas também a partir de espécies nativas que estão sob manejo florestal sustentável. Acreditamos que a análise da anatomia do carvão vegetal é uma ferramenta eficaz para identificar a sua origem e ajudar a garantir a sustentabilidade da cadeia de produtiva de carvão vegetal no Brasil.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2012: ano base 2011**. Brasília. 149p. 2012.

ALFONSO, V.A. **Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de *Eucalyptus* L' Herit cultivadas no Brasil**. Tese (Doutorado Ciências Biológicas - Botânica), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

ALZATE, B.A. Estrutura anatômica da madeira de clones de *Eucalyptus*. **Revista Investigaciones Aplicadas**, v. 5, p. 1-14, 2009.

AMMON, R. de A. **Anatomia do lenho de dez espécies de *Eucalyptus* L'Hér**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

BRAADBAART, F.; POOLE, I. Morphological, chemical and physical changes during charcoalification of wood and its relevance to archaeological contexts. **Journal of Archaeological Science**, v. 35, p. 2434-2445, 2008.

BRASIL. **Balanco energético nacional 2012: ano base 2011**. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 281p, 2012a.

_____. **Bom para o Meio Ambiente, para as Pessoas e para os Negócios: Casos de Boas Práticas Sustentáveis no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente, 236p, 2012b.

CARLQUIST, S. **Comparative Wood Anatomy**. Springer Verlag. 448 p. 2001.

CARNEIRO, M.S. Crítica social e responsabilização empresarial: análise das estratégias para a legitimação da produção siderúrgica na Amazônia Oriental. **Caderno CRH**, v. 21, p. 323-336, 2008.

DADSWELL, H.E. **The anatomy of Eucalypt woods**. CSIRO For. Prod. Lab., Div. Appl. Chem. Tech. Paper 66. 28p. 1972.

DIAS-LEME, C.L.; CARTWRIGHT, C.; GASSON, P. Anatomical changes to the wood of *Mimosa ophthalmocentra* and *Mimosa tenuiflora* when charred at different temperatures. **IAWA Journal**, v. 31, n. 3, p. 335-351, 2010.

EUCLID. **Eucalypts of Australia**. Third Edition. Centre for Plant Biodiversity Research, CSIRO Publishing. Australia. DVD. 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 2012. **FAOSTAT**: Forestry Data. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/index.html>>. Acesso em: 18/03/2013.

GONÇALVES, T.A.P. 2010. **Anatomia do lenho e do carvão em espécies arbóreas do cerrado no estado de São Paulo, Brasil**. Botucatu. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal - Conservação da Natureza), Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas. 2010.

GONÇALVES, T.A.P; MARCATI, C.R.; SCHEEL-YBERT, R. The effect of carbonization on wood structure of *Dalbergia violacea*, *Stryphnodendron polyphyllum*, *Tapirira guianensis*, *Vochysia tucanorum*, and *Pouteria torta* from the Brazilian cerrado. **IAWA Journal**, v. 33, n. 1, p. 73-90, 2012.

HILL, K.D.; JOHNSON, L.A.S. Systematic studies in the eucalypts 7. A revision of the bloodwoods, genus *Corymbia* (Myrtaceae). **Telopea**, v. 6, p. 185-504, 1995.

HOPKINS, M.S. *et al.* Evidence of late Pleistocene fires and eucalypt forest from a North Queensland humid tropical rainforest site. **Australian Journal of Ecology**, v. 15, p. 345-347. 1990.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS (IAWA). List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA J**, v. 10, n. 2, p. 219-332, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. IBGE, Rio de Janeiro, v. 25. 50p. 2010.

INSTITUTO OBSERVATÓRIO SOCIAL (IOS). **A floresta que virou cinza**. 31p. 2011a. Disponível em: <www.observatoriosocial.org.br>. Acesso em: 18/03/2013.

_____. **O aço da devastação**. 33p. 2011b. Disponível em: <www.observatoriosocial.org.br>. Acesso em: 18/03/2013.

KIM, N.H; HANNA, R. B. Morphological characteristics of *Quercus variabilis* charcoal prepared at different temperatures. **Wood Sci. Tech.**, v. 40, p. 392-401, 2006.

KRIBS, D.A. **Commercial foreign woods on the American market**. Dover Publications. 241p. 1968.

MCGINNES, E.A.; KANDEEL, S.A.; SZOPA, P.S. Some structural changes observed in the transformation of wood into charcoal. **Wood and Fiber**, v. 3, n. 2, p. 77-83, 1971.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. Oxford, Clarendon, 2 v. England, U.K. 1500p. 1950.

MUÑIZ, G.I.B. *et al.* Anatomia comparativa da madeira e carvão de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke e *Enterolobium schomburgkii* Benth. para fins de identificação. **Scientia Forestalis**, v. 40, p. 192-297, 2012.

PRIOR, J.; GASSON, P. Anatomical changes on six African hardwoods. **IAWA Journal**, v. 14, n. 1, p. 77-86, 1993.

ROZEFELDS, A.C. Eucalyptus phylogeny and history: a brief summary. **Tasforests**, v. 8, p. 15-26, 1996.

SCHWEINGRUBER, F.H. **Wood Structure and Environment**. Springer-Verlag. 279p. 2007.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). **Our Common Future** - Brundtland Report. Oxford University Press. 300p. 1987.

– CERRADO –

– ANÁLISE MACROSCÓPICA –

**CONTRIBUIÇÃO PARA IDENTIFICAÇÃO DA ORIGEM DO CARVÃO VEGETAL NO
BRASIL II – CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DE ESPÉCIES DO CERRADO**

**(A CONTRIBUTION TO THE IDENTIFICATION OF CHARCOAL ORIGIN IN BRAZIL II –
MACROSCOPIC CHARACTERIZATION OF CERRADO SPECIES)**

Thaís Alves Pereira Gonçalves, Silvana Nisgoski, Julia Sonsin Oliveira, Carmen Regina Marcati, Adriano Wagner Ballarin, Graciela Inés Bolzon de Muñiz.

Artigo aceito para publicação no Anais da Academia Brasileira de Ciências em 17 de julho de 2015.

RESUMO

O cerrado brasileiro é a savana mais rica do mundo. Também é um dos biomas mais ameaçados do país e um “hotspot” de prioridade de conservação. As principais causas do desmatamento no cerrado são as práticas agrícolas, pecuária e produção de carvão vegetal. Apesar da produção de carvão possuir menor impacto, seu consumo representa o desmatamento de 16.000 Km² do cerrado. Para a conservação do bioma é essencial aprimorar a fiscalização florestal. Assim sendo, apresentamos a caracterização macroscópica de carvão vegetal de 25 espécies do cerrado. Visamos simular as condições reais de profissionais que realizam a fiscalização, deste modo usamos ampliações de 10x, 25x e 65x. As micrografias dos carvões são todas das seções transversais devido à maior quantidade de informações anatômicas. Analisamos também a textura, o brilho, a vitrificação, rupturas e alguns caracteres especiais. As espécies apresentam várias diferenças em sua estrutura anatômica. Embora algumas sejam muito peculiares, este trabalho não possui a intenção de identificar carvões somente por macroscopia. Mas pode conceder orientações para futuras identificações de gêneros ou espécies. Ele também viabiliza conhecimento para os agentes governamentais poderem verificar os documentos de origem florestal por análise rápida do próprio carvão.

Palavras-chave: Anatomia do carvão, Conservação da Natureza, espécies nativas, Fiscalização Florestal.

INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro é considerado a savana mais rica do mundo, mas é um dos biomas mais ameaçados no país (MMA, 2011). É também um hotspot para as prioridades de conservação; tem 4.400 plantas endêmicas, que correspondem a 1,5% da flora endêmica global (MYERS, *et al.*, 2000). Além disso, o Cerrado *sensu lato* contém 11.806 espécies de plantas (LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL, 2014), representando 5% da biodiversidade mundial (MMA, 2011).

As principais causas do desmatamento no Cerrado são: (i) as práticas agrícolas; (ii) pecuária; (iii) de carvão vegetal (MMA, 2011). Historicamente, a ocupação maciça do bioma começou em 1920, devido à indústria do café; cerca de dez anos depois, o governo forneceu subsídios e assistência técnica à pecuária (KLINK; MOREIRA, 2002). Isso resultou em cerca de 50% da área do Cerrado convertida para a agricultura e pecuária (KLINK; MACHADO, 2005). Para "contribuir" com esta realidade, há a produção de carvão vegetal.

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal (FAO, 2012). Aproximadamente 90% do carvão vão para a indústria siderúrgica (BRASIL, 2012). O nosso país continua a ser o único produtor de ferro a partir de carvão vegetal; comparando com o carvão mineral, o ferro produzido de carvão vegetal tem melhor qualidade e não contribui para a poluição do meio ambiente (ABRAF, 2013).

Um dos piores problemas da produção de carvão vegetal é a derrubada ilegal de espécies nativas, que corresponde a 30-35% da produção total (IBGE, 2010; ABRAF, 2012). Em 2005, em torno de 35% de carvão nativo foi produzido a partir de espécies do Cerrado (DUBOC *et al.*, 2007). Além disso, o consumo de carvão vegetal representa o desmatamento de aproximadamente 1,6 milhões de hectares ou 16.000 Km² do Cerrado (MMA, 2011).

Neste contexto, os desafios para a conservação do cerrado são especialmente: (i) extração ilegal de madeira; (ii) falsificação de documentos, como o "documento de origem florestal" (DOF); (iii) alto déficit de reflorestamento; (iv) revisão e implementação das leis ambientais; (v) dificuldade em fazer manejo florestal viável no Cerrado (MMA, 2011). O governo brasileiro já fez um compromisso nacional voluntário de redução de 40% das taxas anuais de desmatamento no Cerrado (BRASIL, 2013). Para atingir essas metas, é muito importante melhorar a fiscalização florestal.

Visando contribuir para a fiscalização de carvão, neste trabalho apresentamos a caracterização macroscópica de carvões de 25 espécies do Cerrado. Além disso, damos algumas explicações sobre como a análise deve ser feita. O trabalho é justificado essencialmente pela: (i) importância do Cerrado; (ii) necessidade de identificar carvão ilegal; (iii) divulgação dos conhecimentos para os agentes governamentais poderem verificar o DOF através de uma rápida análise de amostra do próprio carvão.

MATERIAL & MÉTODOS

As espécies analisadas foram: 1 – *Lithrea molleoides* (Vell.) Engl. (Anacardiaceae); 2 – *Annona crassiflora* Mart. (Annonaceae); 3 – *Gochnatia polymorpha* (Less.) Cabrera (Asteraceae); 4 – *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f.ex S. Moore (Bignoniaceae); 5 – *Cordia sellowiana* Cham. (Boraginaceae); 6 – *Caryocar brasiliense* A. St.-Hil. (Caryocaraceae); 7 – *Terminalia glabrescens* Mart. (Combretaceae); 8 – *Lamanonia ternata* Vell. (Cunoniaceae); 9 – *Anadenanthera peregrina* var. *falcata* (Benth.) Reis (Fabaceae-Mimosoideae); 10 – *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae-Caesalpinoideae); 11 – *Leptolobium elegans* Vogel (Fabaceae-Papilionoideae); 12 – *Ocotea corymbosa* (Meisn.) Mez (Lauraceae); 13 – *Eriotheca gracilipes* (K. Schum.) A. Robyns (Malvaceae); 14 – *Microlepis oleifolia* (DC.) Triana (Melastomataceae); 15 – *Ficus guaranitica* Chodat (Moraceae); 16 – *Myrcia bella* Cambess. (Myrtaceae); 17 – *Guapira noxia* (Netto) Lundell (Nyctaginaceae); 18 – *Ouratea spectabilis* (Mart. ex Engl.) Engl. (Ochnaceae); 19 – *Myrsine umbellata* G. Don (Primulaceae); 20 – *Roupala montana* Aubl. (Proteaceae); 21 – *Tocoyena formosa* (Cham. & Schltdl.) K. Schum. (Rubiaceae); 22 – *Siparuna brasiliensis* (Spreng.) A. DC. (Siparunaceae); 23 – *Styrax ferrugineus* Nees & Mart. (Styracaceae); 24 – *Symplocos pubescens* Klotzsch ex Benth. (Symplocaceae); 25 – *Vochysia tucanorum* Mart. (Vochysiaceae). Um a três indivíduos de cada espécie foi analisado.

As amostras de madeira foram coletadas em 180 ha numa reserva privada de Cerrado *sensu lato* “Fazenda Palmeira da Serra” no estado de São Paulo, Brasil (23° 02' 55,5" S e 48° 31' 26,1" W).

Discos acima de 3 cm de espessura foram obtidos da porção basal dos ramos mais desenvolvidos da copa. As exsicatas foram depositadas no herbário ‘Irina

Delanova de Gemtchujnicov' (BOTU) do "Instituto de Biociências" (IB). As amostras de madeira foram inseridas na xiloteca 'Maria Aparecida Mourão Brasil' (BOTw) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) em Botucatu, São Paulo.

O processo de carbonização durou 5 h, com a temperatura final de 450 °C e taxa de aquecimento de 1,66°C/min; as amostras permaneceram na temperatura final por 2 h (MUÑIZ *et al.*, 2012). Os carvões foram quebrados manualmente e analisados num estereomicroscópio Zeiss Discovery V12 de acordo com Gonçalves *et al.* (2014). As amostras de carvão foram depositadas na antracoteca do 'Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira' da Universidade Federal do Paraná (LANAQM/UFPR) em Curitiba, Paraná.

Nós usamos as recomendações do IAWA Committee (1989) para as descrições e mensurações. Outras referências para análise macroscópica de madeira também foram utilizadas (e.g. BOTOSSO, 2009; FPL, 2010). Os graus de vitrificação foram analisados conforme Marguerie e Hunot (2007).

As micrografias dos carvões são todas da seção transversal porque possui maiores informações sobre as espécies. Consideramos também o uso prático, como os fiscais florestais normalmente têm lupa de mão (conta-fios) que não permite magnitude necessária para observar as seções longitudinais. A prancha 3.8 contém as micrografias com escala de 1 mm; o aumento corresponde a 10x, simulando as lupas de mão mais comum dos fiscais florestais. A prancha 3.9 contém aumentos maiores visando mostrar os alguns detalhes; as escalas são de 100 a 200 µm; os aumentos correspondem a 25x, 65x e 100x, simulando lupas de mão melhores que podem ser facilmente adquiridas em lojas especializadas.

RESULTADOS

A tabela 3.3 resume as características anatômicas mais importantes para a identificação de carvões.

Tabela 3.3 - Camadas de crescimento e características anatômicas das espécies estudadas. CC = camadas de crescimento. a = zonas fibrosas. b = linhas/faixas de parênquima axial marginal. c = anel semi-poroso. d = delimitadas pela proximidade entre as faixas estreitas de parênquima escalariforme. e = variações na quantidade de parênquima axial dentro das camadas de crescimento, onde o aliforme confluyente extenso tende a formar faixas irregulares. – = ausente ou indistinto. Ø= diâmetro tangencial dos vasos. Fb = Fibras. WT = espessamento da parede celular. IM = inclusões minerais. ✓ = presentes. (✓) = raras ou poucas. – = ausentes. Tx = Textura. fi = fina. md = média. co = grossa. fb = fibrosa. O tipo de parênquima com (*) é visualizado melhor em aumentos maiores. Os resultados são apresentados em valores médios (mínimo-máximo) desvio padrão.

Espécie	Caractere CC	Vasos		Parênquima Axial	Raios	Fb	IM	Tx
		Ø (µm)	Nº por mm²	Tipo	Nº por mm	WT (µm)		
<i>Lithrea molleoides</i>	a	48 (35-67) 9	67 (55-81) 8	vasicêntrico, confluyente	10 (6-14) 2	3	✓	md-co
<i>Annona crassiflora</i>	a	71 (49-101) 12	26 (20-40) 6	linhas, escalariforme	6 (5-9) 1	2	(✓)	md
<i>Gochnatia polymorpha</i>	a	35 (22-47) 5	31 (19-42) 6	confluyente, vasicêntrico	9 (6-10) 1	3	–	fi-md
<i>Tabebuia aurea</i>	b	64 (44-91) 14	63 (47-79) 12	vasicêntrico, aliforme losangular, confluyente, faixas, marginal	12 (9-14) 2	3	–	md
<i>Cordia sellowiana</i>	b, c	73 (47-149) 22	30 (20-42) 6	faixas, confluyente, vasicêntrico	8 (7-9) 1	2	✓	fi-md
<i>Caryocar brasiliense</i>	a, b	66 (51-78) 7	37 (33-44) 3	difuso, difuso-em- agregados, linhas marginais	12 (8-15) 2	2	✓	md
<i>Terminalia glabrescens</i>	a	73 (50-109) 16	30 (22-36) 5	aliforme losangular, confluyente, vasicêntrico	16 (12-18) 2	3	–	co-fb
<i>Lamanonia ternata</i>	a	48 (31-60) 6	> 100	difuso-em- agregados*	15 (13-18) 2	2	✓	fi-md
<i>Anadenanthera peregrina var. falcata</i>	b	60 (44-81) 9	38 (28-47) 6	vasicêntrico, aliforme losangular, confluyente, marginal	9 (8-11) 1	2-3	✓	md
<i>Copaifera langsdorffii</i>	b	75 (53-98) 12	27 (18-38) 7	marginal, vasicêntrico, aliforme losangular	11 (8-14) 2	2	✓	fi-md
<i>Leptolobium elegans</i>	b	51 (31-65) 9	56 (43-68) 8	vasicêntrico, confluyente, aliforme losangular, marginal	13 (11-14) 1	3	✓	fi-md
<i>Ocotea corymbosa</i>	–	37 (27-46) 4	49 (38-62) 7	escasso*	13 (9-16) 2	3	–	fi
<i>Eriotheca gracilipes</i>	a	114 (87-149) 17	24 (18-32) 4	difuso, difuso em agregados	8 (4-10) 2	2-3	–	md-co

Tabela 3.3 - cont.

Caractere Espécie	GR	Vessels		Axial parenchyma	Rays	Fb	IM	Tx
		Ø (µm)	Nº por mm²	Type	Nº por mm	WT (µm)		
<i>Microlepis oleifolia</i>	a	46 (24-95) 15	55 (36-70) 15	escasso*	12 (7-16) 3	3	✓	fi
<i>Ficus guaranitica</i>	-	80 (60-113) 13	10 (6-18) 4	faixas	8 (5-11) 2	1	-	co-fb
<i>Myrcia bella</i>	a	56 (39-80) 10	44 (32-60) 9	difuso em agregados*	17 (13-21) 3	2	✓	fi-md
<i>Guapira noxia</i>	-	60 (45-89) 15	16 (12-23) 3	vasicêntrico, confluyente	6 (4-7) 1	3	-	co-fb
<i>Ouratea spectabilis</i>	-	62 (47-87) 9	26 (16-35) 6	difuso, difuso em agregados, vasicêntrico	5 (4-7) 1	1-2	✓	md
<i>Myrsine umbellata</i>	a	42 (23-58) 8	76 (46-100) 16	escasso* e vasicêntrico	3 (2-4) 1	1-2	✓	md-co
<i>Roupala montana</i>	d	53 (35-92) 13	97 (76-120) 16	linhas	2 (2-3) 1	3	-	co-fb
<i>Tocoyena formosa</i>	a	36 (25-49) 6	~100	difuso, difuso em agregados	16 (13-19) 2	3	(✓)	fi
<i>Siparuna brasiliensis</i>	a	44 (29-59) 8	85 (62-103) 15	difuso em agregados, poucas linhas	11 (6-13) 2	2	✓	fi-co
<i>Styrax ferrugineus</i>	a	67 (48-92) 10	56 (45-66) 6	difuso em agregados, poucas linhas	8 (6-10) 1	2	✓	md
<i>Symplocos pubescens</i>	a	49 (38-60) 5	>100	difuso, difuso em agregados	7 (4-9) 2	2	-	fi-md
<i>Vochysia tucanorum</i>	e	87 (73-117) 11	16 (10-23) 5	vasicêntrico, confluyente, aliforme losangular, poucas faixas	6 (3-9) 2	1-2	✓	md-co

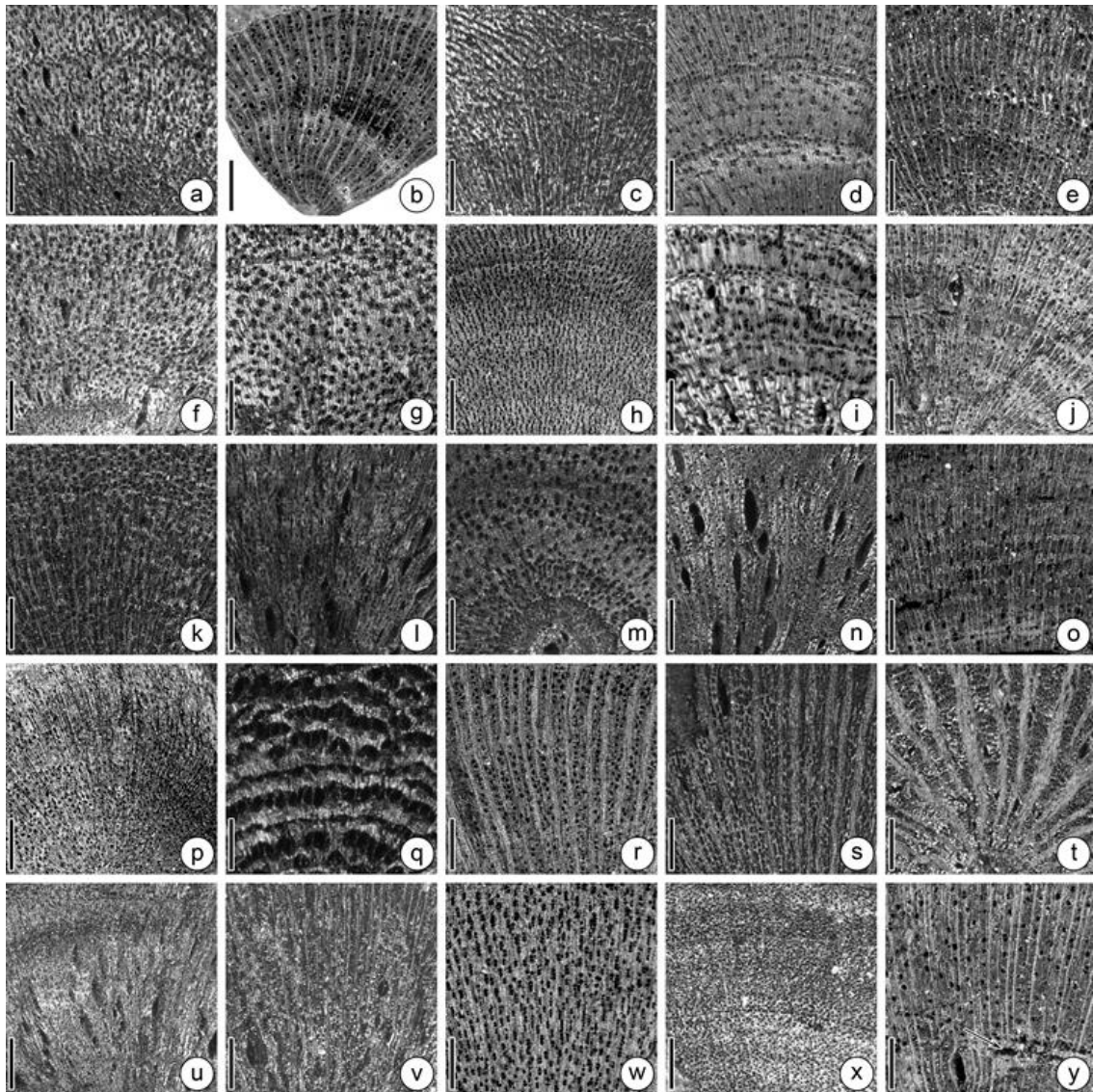
As espécies *Lithrea molleoides*, *Gochnatia polymorpha*, *Tabebuia aurea*, *Terminalia glabrescens*, *Caryocar brasiliense*, *Anadenanthera peregrina* var. *falcata*, *Copaifera langsdorffii*, *Microlepis oleifolia*, *Ocotea corymbosa*, *Roupala montana*, *Tocoyena formosa*, *Styrax ferrugineus* e *Symplocos pubescens*, tem o primeiro e segundo níveis de vitrificação, evidenciados de acordo com o aumento do brilho devido à fusão das paredes celulares.

Rupturas foram presentes em *Anadenanthera peregrina* var. *falcata*, *Caryocar brasiliense*, *Copaifera langsdorffii*, *Ficus guaranitica*, *Lithrea molleoides*, *Microlepis oleifolia*, *Myrsine umbellata*, *Ocotea corymbosa*, *Roupala montana*, *Siparuna brasiliensis* (Prancha 3.8. Figs. i, f, j, o, a, n, s, l, t, v, respectivamente).

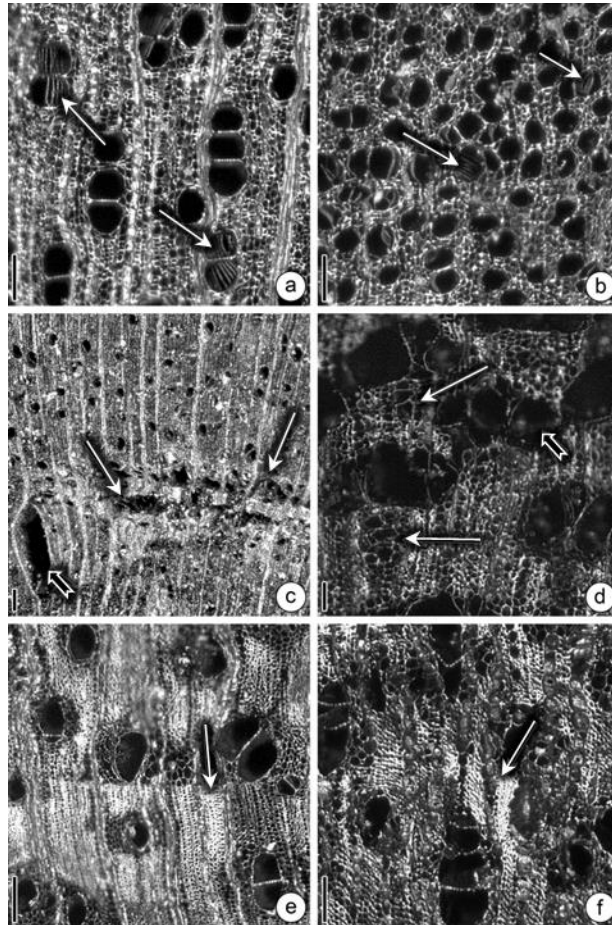
Brilho foi evidente em todas as espécies, sendo identificado mais intensamente nas fibras com parede celular espessa e em células do parênquima axial com conteúdo remanescentes.

Alguns caracteres especiais estiveram presentes em poucas espécies, como: placa de perfuração escalariforme – *Styrax ferrugineus* e *Symplocos pubescens* (Prancha 3.8. Fig. a, b, respectivamente); inclusões minerais – podem ser vistas no plano de corte transversal (e.g. *Siparuna brasiliensis*); canais traumáticos – *Vochysia tucanorum* (Prancha 3.8. Fig. y, Plate 3.9 fig. c); floema incluso – *Guapira noxia* (Prancha 3.8. Fig. q e Plate 3.9. Fig. d).

Nós apresentamos as micrografias dos carvões na Prancha 3.8, os aumentos usados são similares ao de uma lupa de mão de 10x. Os detalhes mais importantes estão na Prancha 3.9.



Prancha 3.8. Seção Transversal. Figura a – *Lithrea molleoides*. b – *Annona crassiflora*. c – *Gochnatia polymorpha*. d – *Tabebuia aurea*. e – *Cordia sellowiana*. f – *Caryocar brasiliense*. g – *Terminalia glabrescens*. h – *Lamanonia ternata*. i – *Anadenanthera peregrina* var. *falcata*. j – *Copaifera langsdorffii*. k – *Leptolobium elegans*. l – *Ocotea corymbosa*. m – *Eriotheca gracilipes*. n – *Microlepis oleifolia*. o – *Ficus guarnitica*. p – *Myrcia bella*. q – *Guapira noxia*. r – *Ouratea spectabilis*. s – *Myrsine umbellata*. t – *Roupala montana*. u – *Tocoyena formosa*. v – *Siparuna brasiliensis*. w – *Styrax ferrugineus*. x – *Symplocos pubescens*. y – *Vochysia tucanorum*, seta indica o canal axial traumático. Escala: 1mm.



Prancha 3.9. Seção transversal. Figura a – *Styrax ferrugineus* (100x), b – *Symplocos pubescens* (100x), setas mostram placas de perfuração escalariformes nos vasos. c – *Vochysia tucanorum* (25x), setas finas indicam os canais axiais traumáticos, a seta mais larga aponta para uma ruptura. d – *Guapira noxia* (65x), a seta mais larga indica o floema incluso, as mais finas mostram os vasos. e – *Anadenanthera peregrina* var. *falcata* (100x), f – *Terminalia glabrescens* (100x), a seta aponta para a vitrificação. Escala: 100 μm – a, b, d, e, f; 200 μm – c.

DISCUSSÃO

As descrições da anatomia dos carvões das espécies analisadas estão de acordo com as descrições para madeira realizadas por Sonsin *et al.* (2014), assim foi possível comparar os nossos resultados com as análises anatômicas da madeira.

As primeiras características que são analisadas em macroscopia de carvões são textura, brilho e vitrificação. Comparativamente à madeira, no carvão nós não podemos avaliar a cor, odor e sabor, e é muito difícil obter seções grandes para definir a grã precisamente. Do mesmo modo, densidade é outra propriedade que deve ser mensurada cuidadosamente, porque é dependente de vários fatores como temperatura e/ou tempo de carbonização.

O parênquima axial é o caractere de maior importância na identificação da madeira (METCALFE; CHALK, 1950), entretanto no carvão nem sempre é facilmente visualizado – por exemplo no tipo escasso (*Ocotea corymbosa*) e/ou difuso (*Lamanonia ternata*). Parênquima em faixas presente em *Ficus guaranitica* e diversos tipos de parênquima paratraqueal, geralmente são bem distintos devido ao contraste com as fibras.

Também há outras informações importantes para distinguir famílias ou até mesmo gênero, por exemplo, quando é presente o arranjo dos vasos (e.g. *Gochnatia polymorpha*), elevada frequência dos vasos (e.g. *Symplocos pubescens*) ou baixa quantidade (e.g. *Vochysia tucanorum*) e, em alguns casos grande diferença no diâmetro dos vasos, associado com outras características anatômicas, como floema incluso e as vezes com aspectos sensoriais. Além disso, algumas características ocorrem em poucas famílias ou são observadas apenas em maiores aumentos (sob microscópio). Esses tipos de características podem auxiliar os agentes governamentais a separar famílias ou simplesmente conferirem o DOF (“documento de origem florestal”) e confirmarem se a espécie listada no documento é a mesma. Por exemplo, no plano de corte transversal pode ser observada a presença de raios muito largos, que estão presentes nas famílias Annonaceae, Ochnaceae, Primulaceae, Proteaceae (Prancha 3.8. figs. b, r, s, t). Outro exemplo é a presença de caracteres como placa de perfuração escalariforme, canais axiais traumáticos e floema incluso que podem ajudar muito a separar famílias e até mesmo gêneros quando analisados com outras características anatômicas, ressaltando que todos são observados de forma mais adequada em aumentos maiores.

Entretanto, algumas dessas características anatômicas no carvão vegetal podem levar a interpretações errôneas considerando profissionais com pouca experiência. Por exemplo, as várias rupturas no floema incluso em *Guapira noxia* são semelhantes à vasos deformados quando observadas na seção transversal. Apesar disso, um profissional treinado pode fazer a identificação devida das estruturas, bastando comparar com os vasos com parede celular intacta.

As camadas de crescimento foram observadas em 84% das espécies deste estudo. De acordo com os estudos de Alves e Angyalossy-Alfonso (2000), Barros *et al.* (2006), Worbes (1989, 1999) e Worbes *et al.* (2003) as espécies arbóreas de Florestas Tropicais geralmente apresentam camadas de crescimento. Os autores citados estudaram espécies da Mata Atlântica, Florestas Amazônicas, Floresta estacional semidecidual do Brasil e Venezuela. A presença de camadas de crescimento delimitadas por faixas marginais de parênquima axial e zonas fibrosas são facilmente observadas nos carvões devido à diferença de tamanho entre as células. Por outro lado, linhas e faixas marginais de parênquima e a proximidade de parênquima escalariforme ou reticulado nem sempre são tão fáceis de distinguir. Algumas vezes o tamanho da amostra ou a presença de rupturas podem aumentar a dificuldade de visualização ou ocultar as camadas de crescimento nos carvões. Por exemplo, as camadas de crescimento na madeira de *Ocotea corymbosa* (Sonsin *et al.* 2014) não puderam ser observadas no carvão, devido à elevada ocorrência de rupturas – tanto nos raios quanto no parênquima axial.

A maioria das espécies analisadas tem textura fina à média, como *Gochnatia polymorpha*, *Cordia sellowiana*, *Lamanonia ternata*, *Copaifera langsdorffii*, *Leptolobium elegans*, *Myrcia bella* e *Symplocos pubescens*. A caracterização da textura no carvão deve ser feita cuidadosamente. Isto é devido as possíveis rupturas causadas pelo processo da quebra manual, p.ex.: em espécies com vasos muito grandes ou abundância de parênquima axial. Em tais casos pode ocasionar a impressão de texturas mais grossas devido às irregularidades na superfície. Assim, nós recomendamos que essa análise seja feita em carvões recém quebrados e com a superfície mais plana possível.

O brilho nos carvões foi observado em todas as espécies estudadas. Sendo essa característica não considerada como de grande valor diagnóstico, porque

geralmente é visualizada na maioria das espécies. Inclusive, mesmo quando nas seções transversais não é tão evidente; nas seções radiais é muito brilhosa.

Elementos vitrificados foram observados na maioria das espécies estudadas, normalmente nos graus 1 e 2 (pouco brilho e baixo índice e refração; brilho forte, respectivamente). De acordo com Marguerie e Hunot (2007), essa característica pode ser identificada pela fusão celular; e também pelo contraste entre a coloração clara e de tons escuros de cinza. Vale a pena ressaltar que se o carvão estiver muito vitrificado, os elementos celulares estarão fusionados, formando uma massa não reconhecível como o observado pelos autores citados anteriormente. Portanto, os fiscais ambientais podem acreditar que a amostra não é carvão. Além disso, a coloração clara pode ser observada no conteúdo restante dentro das células e inclusões minerais.

Assim como na madeira, algumas características qualitativas são melhores observadas em maiores aumentos, e.g. parênquima axial difuso; e outras em menores, e.g. camadas de crescimento. Em geral, a maioria das características observadas para as espécies estudadas, foram melhor observadas em menores aumentos. Entretanto, a prática é essencial para desenvolver a acuidade visual para a identificação das características anatômicas no carvão.

Apesar das espécies estudadas não terem apresentado um padrão para a ocorrência de rupturas, como mencionado em trabalhos prévios (ver Gonçalves *et al.*, 2014), em algumas delas foram observadas eventuais rupturas nos raios e no parênquima axial. Essas rupturas são esperadas, ao passo que o tecido parenquimático é fraco e possui paredes finas.

CONCLUSÕES

Esse é o primeiro artigo com caracterização macroscópica de carvões de espécies do Cerrado. Assim como na madeira, a análise macroscópica deve ser realizada antes da microscópica. As espécies analisadas apresentam várias diferenças na sua estrutura anatômica, algumas delas são muito peculiares e observadas somente em microscopia. De outra forma, nós recomendamos fortemente o uso de maiores aumentos para identificação de carvões. As principais características anatômicas usadas para identificar gêneros de carvões são

parênquima axial, distribuição/diâmetro tangencial dos vasos e largura dos raios. Também é importante ressaltar que em casos reais, a possibilidade de retirar uma amostragem do campo para o laboratório nem sempre é uma opção. O presente trabalho poderá fornecer subsídios para identificações futuras dos gêneros e/ou espécies. Desta mesma forma, ele também fornece informações para agentes governamentais de fiscalização florestal para verificar se as espécies carbonizadas estão de acordo com o documento de origem florestal (DOF), por uma rápida análise da amostra. Nós esperamos que esse trabalho possa ser usado com fins práticos para auxiliar na conservação das espécies do Cerrado.

Referências Bibliográficas

- ALVES, E.S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species I: Growth rings and vessels. **IAWA J**, v. 21, n. 1, p. 3-30, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2012: ano base 2011**. Brasília, 149p. 2012.
- _____. **Anuário estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012**. Brasília, 142p. 2013
- BARROS, C.F. *et al.* Tendências ecológicas na anatomia da madeira de espécies da comunidade arbórea da reserva biológica de poço das antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 57, p. 443-460, 2006.
- BOTOSSO, P.C. **Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento**. Colombo: Embrapa Florestas, 65p. 2009.
- BRASIL. **Balanco energético nacional 2012: ano base 2011**. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética: Rio de Janeiro, Brasil. 281p. 2012.
- _____. **Legislação brasileira sobre meio ambiente**. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, Série legislação, v. 105, n. 3. 186p. 2013.
- DUBOC, E. *et al.* **Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado**. Documentos/Embrapa Cerrados, 37 p. 2007.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **FAOSTAT: Forestry Data**. 2012. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/index.html>>. Acesso em: 20/03/2015.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY (FPL). **Wood handbook - Wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 508 p. 2010.

- GONÇALVES, T.A.P. *et al.* A contribution to the identification of charcoal origin in Brazil I – Anatomical characterization of *Corymbia* and *Eucalyptus*. **Maderas, Cienc Tecnol**, v. 16, p. 323-336, 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro: IBGE, 25: 50p, 2010.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS (IAWA). List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA J**, v. 10, n. 2, p. 219-332, 1989.
- KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.
- KLINK, C.A.; MOREIRA, A.G. Past and current human occupation and land-use. In: P.S. OLIVEIRA AND R.J. MARQUIS (Eds). **The Cerrado of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna**. p. 69-88. 2002.
- LISTA DE ESPÉCIES DA FLORA DO BRASIL**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 20/03/2015.
- MARGUERIE, D.; HUNOT, J.Y. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in northwestern France. **J Archeol Sci**, v. 34, p. 1417-1433, 2007.
- METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. Oxford, Clarendon, 2 v. England, U.K. 1500p. 1950.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite - acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA - Monitoramento do bioma Cerrado 2009-2010**. Brasília: MMA, 65 p. 2011.
- MUÑIZ, G.I.B. *et al.* Anatomia comparativa da madeira e carvão de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke e *Enterolobium schomburgkii* Benth. para fins de identificação. **Scientia Forestalis**, v. 40, p. 192-297, 2012.
- MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.
- SONSIN, J.O. *et al.* **Atlas da Diversidade de Madeiras do Cerrado Paulista**. 1st ed. Botucatu: FEPAF 01, 423p. 2014.
- WORBES M. Growth rings, increment age of trees in inundation forests, savannas and a mountain forest in the Neotropics. **IAWA Bull.**, n.s. v. 10, p. 109-122. 1989.
- WORBES M. Annual growth rings, rainfall dependet growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Forest Reserve Caparo in Venezuela. **J. Ecol.**, v. 87, p. 391-403. 1999.
- WORBES, M. *et al.* Tree rings analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. **Forest Ecology and Management**, v. 173, p. 105-123, 2003.

CAPÍTULO 4 – ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO APLICADA PARA IDENTIFICAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL

RESUMO

A Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) é uma técnica rápida e não destrutiva que fornece uma análise ampla de vários constituintes químicos, sem a necessidade de preparação elaborada das amostras. Atualmente as análises em NIR são amplamente difundidas. No Setor Florestal há várias aplicações do NIR, como indústria de polpa e papel, química da madeira, propriedades físicas e mecânicas da madeira, entre outros. Trabalhos visando distinção entre espécies ainda são poucos, mas alguns autores obtiveram sucesso. Considerando a importância do carvão vegetal no Brasil, associação do produto ao desmatamento e utilização de espécies ameaçadas, além da dificuldade dos fiscais em identificar carvões, o presente capítulo tem como objetivo a separação entre sete espécies de eucaliptos e 25 nativas do cerrado paulista pelo NIR. Foi utilizado um espectrofotômetro FTIR Tensor, operando em refletância difusa na faixa do infravermelho próximo. Os espectros foram obtidos da superfície de cada plano de corte dos carvões. A Análise de Componentes Principais (PCA) foi efetuada com o software Unscrambler. As amostras carbonizadas foram divididas em dois grupamentos, eucaliptos e cerrado; sendo as espécies do cerrado foram subdivididas em cinco grupamentos de acordo com similaridades estruturais. A obtenção dos espectros e análises seguiu a norma ASTM 1655-05. Foram testados os pré-tratamentos de segunda derivada de Savitzky-Golay e correção do espalhamento de luz (Multiplicative Scattering Correction). Em geral, embora tenha ocorrido sobreposição de amostras, foi possível realizar a distinção entre elas. Houveram diferentes respostas entre os planos de corte, sendo que os transversais apresentaram melhor resposta assim como na anatomia. A análise do gráfico do espectro médio original e da segunda derivadas deve ser realizada em conjunto, pois em determinadas espécies o resultado é mais satisfatório num deles. Como o NIR fornece uma resposta química e o foco do trabalho é anatômico, não podemos justificar a diferenciação e sobreposição entre as espécies. Entretanto, como os estudos de identificação de espécies estão em fase preliminar, consideramos os resultados favoráveis para estimular a criação de bancos de dados de espécies e outros trabalhos com o mesmo enfoque.

Palavras chave: NIR, anatomia de carvão vegetal, eucalipto, Cerrado, fiscalização.

INTRODUÇÃO

A Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) pode ser definida como uma técnica não destrutiva e rápida (<30 segundos) para coleta de dados. Ela fornece uma análise de vários constituintes, com altos níveis de exatidão e precisão. Outro grande benefício da técnica é a preparação mínima da amostra, sem a necessidade de adicionar solventes ou reagentes, auxiliando na proteção do meio ambiente e evitando o descarte controlado de produtos químicos. Além disso, os espectros registrados pelos espectrofotômetros de NIR podem conter uma imensa quantidade e variedade de informações químicas e físicas sobre amostra e seus constituintes (METROHM, 2014).

Embora o astrônomo alemão William Herschel tenha desenvolvido vários trabalhos importantes (e.g. “Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun”), e descoberto a radiação na região do infravermelho próximo em 1800, os seus estudos foram praticamente ignorados (OLIVEIRA; SILVA, 2014). As primeiras aplicações da espectroscopia NIR foram relatadas na década de 1950, mas somente em 1970 a técnica foi utilizada para analisar alimentos; contudo, somente com o avanço da tecnologia (e.g. computadores capazes de processar de forma eficaz as informações contidas nos espectros, componentes eletrônicos e ópticos para caracterização de materiais), é que houve expansão da técnica em diversas áreas (BLANCO; VILLARROYA, 2002). Ao longo das últimas décadas, a técnica tem sido utilizada em conjunto com ferramentas quimiométricas e análise multivariada; isto gerou diversos estudos quantitativos e qualitativos de uma grande escala de amostras, como farmacêutica, agricultura, indústria têxtil, combustíveis fósseis e florestais, fornecendo dados aplicáveis tanto na indústria quanto nas pesquisas acadêmicas (TSUCHIKAWA, 2007; SCHWANNINGER *et al.*, 2011).

A região de comprimento de onda NIR tem duas vantagens principais: (i) a alta velocidade de aquisição espectral que facilita a coleta de dados descritivos, atuando em tempo real, sendo um pré-requisito para sistemas de controle; (ii) os espectros podem ser gravados a partir de uma gama diversificada de materiais (principalmente orgânicos) após pouco ou mesmo nenhum preparo do material. O alcance entre os espectros situa-se entre 12.500 cm^{-1} e 4000 cm^{-1} (800 nm a 2500 nm), podendo definir o NIR como o estudo de transições eletrônicas de baixa energia. Estes parâmetros são muito importantes para madeira, pois avalia tons e bandas de combinação

(alongamento e deformação) de vibrações fundamentais devido às grandes constantes de força e baixas massas presentes, envolvendo a análise de grupos de hidrogênio com átomos, e.g. C-H e O-H (SCHWANNINGER *et al.*, 2011; TSUCHIKAWA; SCHWANNINGER, 2013).

Os espectros de absorção do NIR muitas vezes são complexos e normalmente possuem grandes bandas de absorção sobrepostas que exigem procedimentos matemáticos especiais (tratamentos) para análise de dados (METROHM, 2014). Como a madeira é um material heterogêneo, a interpretação do espectro é ainda mais complicada (TSUCHIKAWA; SCHWANNINGER, 2013). Tanto para a madeira quanto para os produtos florestais, a espectroscopia NIR deve ser amplamente usada, inclusive quando a sua forma original é mantida; podendo ser uma técnica promissora para analisar o estado físico, bem como a sua composição química, tendo em vista que as análises não destrutivas de madeira baseados em espectroscopia de NIR requerem várias abordagens (TSUCHIKAWA, 2007).

Alguns pesquisadores desenvolveram trabalhos de revisão bibliográfica sobre NIR e setor florestal (e.g. SCHIMLECK *et al.*, 2000; SO *et al.*, 2004; TSUCHIKAWA, 2007; MUNIZ *et al.*, 2012; TSUCHIKAWA; SCHWANNINGER, 2013; TSUCHIKAWA; KOBORI, 2015). É possível perceber que os principais direcionamentos são para: (i) indústria de polpa e papel; (ii) química da madeira; (iii) propriedades físicas e mecânicas da madeira; (iv) qualidade de compósitos e painéis; (v) durabilidade natural, biodegradação e outras alterações, como comportamento aos tratamentos químicos e térmicos; (vi) alguns parâmetros anatômicos, como ângulo microfibrilar e comprimento das traqueídes; (vii) técnica de diferenciação; (viii) biomassa e energia; entre outros.

Em específico sobre carvão vegetal, há poucos trabalhos que abordaram a análise em espectroscopia do infravermelho, tendo os seus principais direcionamentos para qualidade e separação de espécies, alguns exemplos a seguir.

Em se tratando da importância do carvão vegetal de *Acer saccharum* (“sugar maple” ou bordo-açucareiro) no processo de filtragem e maturação na preparação do uísque “Tennessee”, o trabalho de Labbé *et al.* (2006) visou separar essa espécie de outras que são potencialmente misturadas ao processo e geram alterações na qualidade do uísque. As espécies *Acer saccharum*, *A. rubrum*, *A. saccharinum* e *Quercus alba* foram analisadas em espectroscopia do infravermelho médio (MIR, 650

à acima de 4000 cm^{-1}), levando em consideração a temperatura na estrutura de carvão e composição química. Como resultados, a análise dos componentes principais separou os carvões de diferentes espécies.

Buscando avaliar as propriedades do carvão vegetal, Barcellos (2007) fez a comparação entre as análises tradicionais e as suas respectivas estimativas em espectroscopia do infravermelho próximo (NIR). Foram analisadas 12 espécies que podem ser subdivididas em (i) eucaliptos (*Eucalyptus urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. cloeziana*, clone de *E. urophylla* e peças comerciais de *Eucalyptus* spp. de origem e idade desconhecida); (ii) e as espécies nativas do cerrado o pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), pequi (*Caryocar brasiliense*), pau-terra (*Qualea grandiflora*), ingá (*Inga laurina*), tingui (*Magonia pubescens*), sucupira (*Bowdichia virgiloides*) e baru (*Dipterix alata*). Os espectros foram adequados para predizer os teores de carbono fixo, matérias voláteis e poder calorífico do carvão, sendo que a faixa 1900-2000 nm apresentou os maiores coeficientes de correlação com as propriedades do carvão, em todas as situações analisadas. Entretanto, não foi possível predizer o teor de cinzas e a massa específica aparente do carvão por espectroscopia.

Tendo em vista os fins siderúrgicos de eucaliptos, amostras de carvão de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* foram analisadas em NIR buscando propor uma rápida predição da qualidade do carvão em escala industrial (CAMPOS, 2008). Este estudo se mostrou adequado para a predição dos teores de materiais voláteis e carbono fixo do carvão vegetal, comprovando que a técnica do NIR poderá ser muito importante para averiguar a qualidade do carvão desejado pela indústria. Ainda com o mesmo enfoque, outras análises foram desenvolvidas com dois clones de eucaliptos, um híbrido de *Eucalyptus camaldulensis* com *E. urophylla* e outro híbrido natural de *E. urophylla* (ANDRADE, 2009; ANDRADE *et al.*, 2012). Outro trabalho para estimar o conteúdo de carbono fixo de carvão foi o de Hein *et al.* (2013) que avaliaram carvões de híbridos de *Eucalyptus urophylla* com *E. camaldulensis* e o híbrido natural de *E. urophylla*, tendo encontrado desempenho similar aos testes tradicionais que auxiliam a estimular a aplicação do NIR para a siderurgia.

Considerando a importância da origem do carvão vegetal e as limitações em conhecimentos de anatomia da madeira dos agentes fiscalizadores, Davrieux *et al.* (2010) avaliaram a viabilidade da espectroscopia na região do infravermelho médio (MIR) e do infravermelho próximo (NIR) na discriminação de carvões vegetais de ipê

(*Tabebuia serratifolia*) e eucalipto (*Eucalyptus grandis*). Como ambas as técnicas seguem os mesmos princípios relacionados com as propriedades vibracionais dos compostos químicos e de radiação eletromagnética, foi possível separar as espécies nos dois casos, entretanto os resultados apresentaram diferentes sensibilidades e resoluções em suas intensidades de absorção.

Outro trabalho que também teve enfoque em discriminar espécies de carvões foi o de Monteiro *et al.* (2010). O objetivo desse trabalho foi de separar os indivíduos pelos processos de carbonização e a separação das espécies. As espécies utilizadas foram eucaliptos (sete espécies) e vinte nativas do Cerrado de Minas Gerais. Os sistemas de carbonização avaliados foram: i) desconhecido - amostras de carvão provenientes do comércio local; ii) industrial - quinze amostras aleatórias de carvão vegetal foram removidas a partir de dois fornos retangulares industriais FR-190; (iii) laboratório - mufla para as eucaliptos e espécies nativas. Os autores não conseguiram distinguir o processo de carbonização que originou amostras pela análise dos componentes principais dos espectros, mas a primeira derivada foi capaz de separar as amostras de carvão de acordo com o processo de carbonização. Entretanto, eles não conseguiram realizar a distinção entre os carvões de eucaliptos e os de espécies nativas.

O trabalho de Muñiz *et al.* (2013) analisou madeira e carvão de *Hymenaea aurea*, *Mimosa scabrella*, *Tabebuia capitata* e *Eucalyptus alba* por microscopia eletrônica de varredura e infravermelho próximo visando desenvolver uma técnica para identificar espécies carbonizadas. Os autores conseguiram separar as quatro espécies com o NIR e abriram margem para novos estudos se sucederem. Definitivamente este trabalho é que mais se aproxima deste capítulo, tendo servido inclusive como base para as nossas análises e interpretações. Outro trabalho com o mesmo enfoque foi o de Nisgoski *et al.* (2015), nele espécies carbonizadas de Moraceae (*Brosimum acutifolium* e *Ficus citrifolia*) e Euphorbiaceae (*Hieronyma laxiflora* e *Sapium glandulatum*) foram analisadas sob NIR e foi possível realizar a distinção entre as espécies, mesmo elas sendo da mesma família.

Considerando a importância do carvão vegetal no Brasil, a associação do produto ao desmatamento e utilização de espécies ameaçadas, além da dificuldade dos fiscais em identificar carvões, o presente capítulo tem como objetivo a separação

entre sete espécies carbonizadas de eucaliptos e 25 nativas do cerrado paulista com o uso da espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR).

MATERIAL E MÉTODOS

As espécies analisadas foram as mesmas do capítulo 3, ou seja, os eucaliptos (ver Tabela 3.1 na página 54) e as espécies nativas do cerrado paulista (ver página 71).

O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro FTIR Tensor 37 da marca Bruker, operando em refletância difusa na faixa do infravermelho próximo entre 4000 e 10000 cm^{-1} . As leituras foram obtidas com resolução de 4 cm^{-1} e 64 scans. Os espectros foram obtidos diretamente da superfície de cada amostra de carvão nos planos de corte transversal (RT), longitudinal tangencial (LR) e longitudinal radial (LT), num total de 30 a 40 espectros por espécie, variando de acordo com o número e tamanho das amostras. O único preparo das amostras foi a quebra manual de acordo com os três planos de corte, ver capítulo 3 (GONÇALVES et al., 2014; GONÇALVES et al., no prelo), isto ocorreu devido à manutenção das características anatômicas e simulação das condições práticas dos fiscais, onde não será possível tratamentos elaborados, como moer as amostras.

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi efetuada com o auxílio do software Unscrambler®, versão 10.1. Para isso, as amostras foram divididas em dois grupamentos, as espécies de eucaliptos e cerrado. No caso das espécies do cerrado houve ainda uma subdivisão em cinco agrupamentos:

- 01 – *Annona crassiflora*, *Ficus guaranítica*, *Myrsine umbellata*, *Ouratea spectabilis* e *Roupala montana*.
- 02 – *Caryocar brasiliense*, *Cordia sellowiana*, *Eriotheca gracilipes*, *Guapira noxia* e *Vochysia tucanorum*.
- 03 – *Anadenanthera peregrina* var. *falcata*, *Copaifera langsdorffii*, *Gochnatia polymorpha*, *Lamanonia ternatae* e *Leptolobium elegans*.
- 04 – *Ocotea corymbosa*, *Siparuna brasiliensis*, *Styrax ferrugineus*, *Symplocos pubescens* e *Tocoyena formosa*.
- 05 – *Lithrea molleoides*, *Myrcia bella*, *Microlepis oleifolia*, *Tabebuia aurea* e *Terminalia glabrescens*.

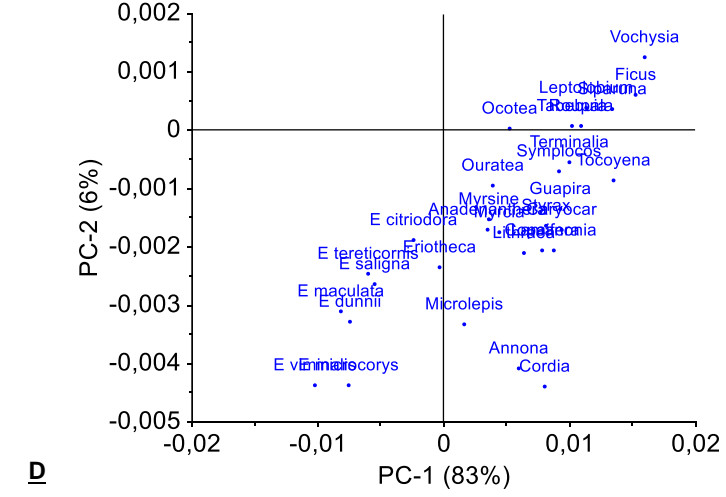
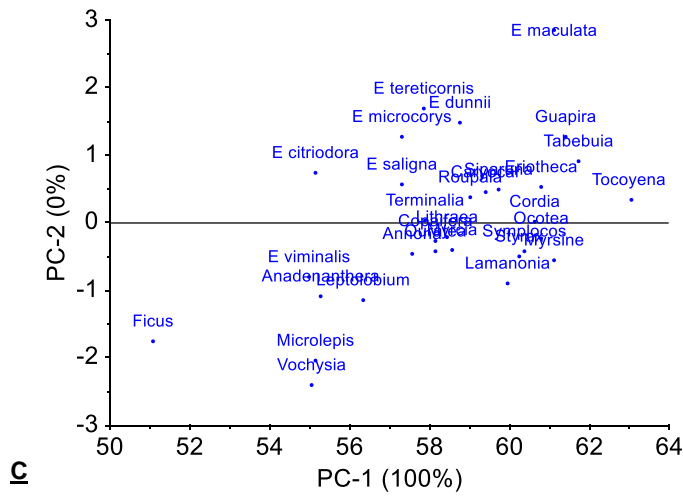
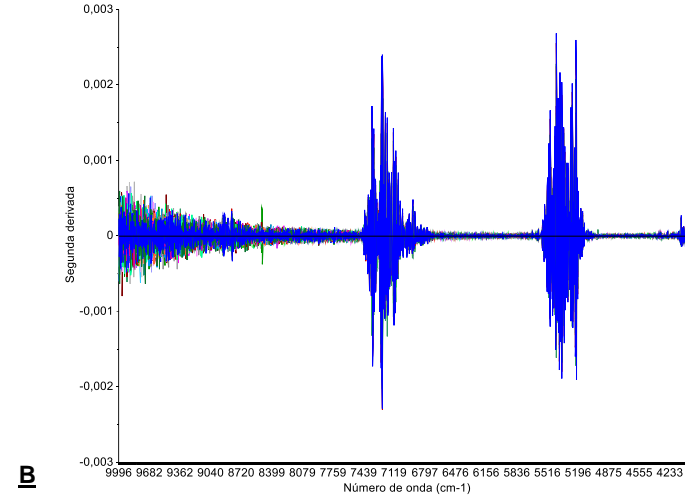
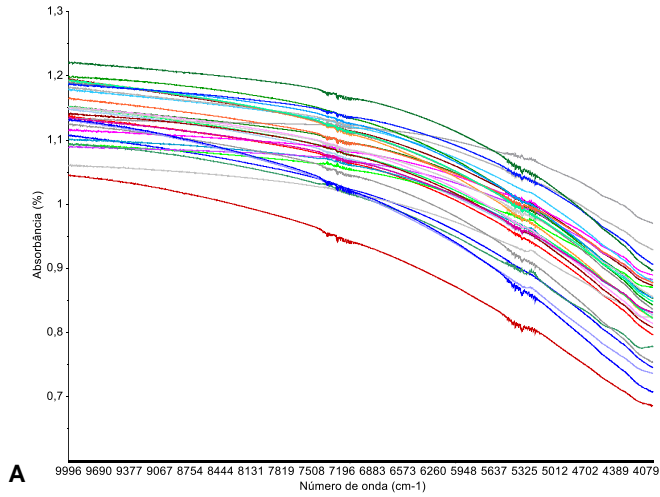
O grupo 01 foi o único formado pela abundância de parênquima axial e/ou radial das espécies. As demais espécies foram agrupadas buscando as similaridades anatômicas especialmente macroscópicas, simulando as dificuldades reais do trabalho prático dos agentes fiscais, ou seja, o risco do observador se confundir com as similaridades estruturais (ver prancha 3.8 na página 76). A caracterização anatômica das espécies está disponível no capítulo 3 (GONÇALVES *et al.*, 2014; GONÇALVES *et al.*, no prelo).

A obtenção dos espectros de cada espécie e as análises seguiram a norma ASTM 1655-05 (2012). Por último, foram testados os pré-tratamentos de segunda derivada de Savitzky-Golay e correção do espalhamento de luz (Multiplicative Scattering Correction - MSC).

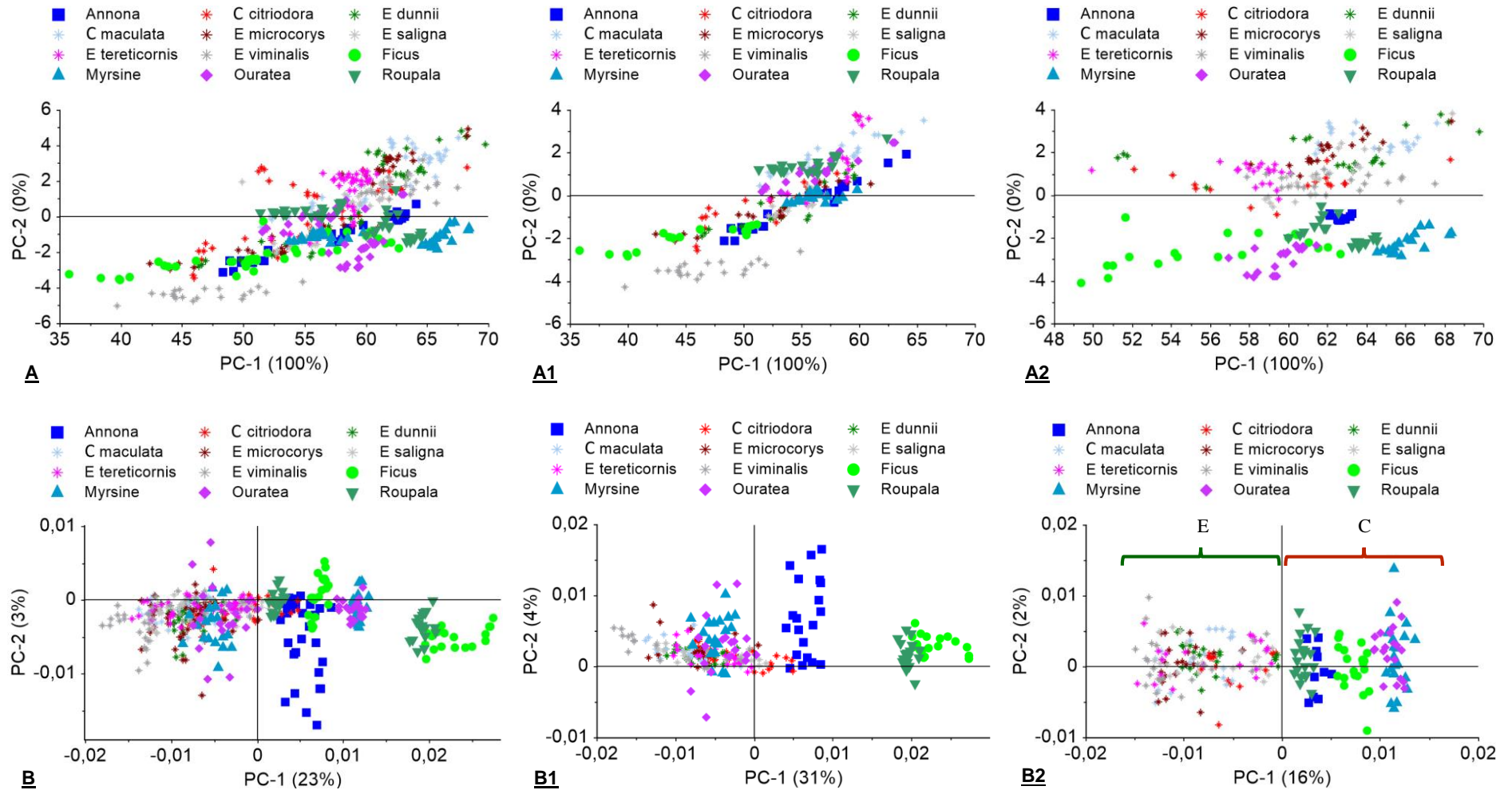
RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentadas as figuras referentes ao espectro médio original e a segunda derivada (Prancha 4.1, fig A, B); Análise de Componentes Principais (PCA) original e médio da segunda derivada das espécies (Prancha 4.1, fig C, D); comparação entre os eucaliptos e cada grupo de espécies do cerrado, na fileira superior os gráficos de PCAs originais e na inferior a sua respectiva segunda derivada, sendo que o sentido da esquerda para direita representam os seguintes planos de cortes: (i) todos os três, (ii) os dois longitudinais ou laterais; (iii) transversal ou topo (Pranchas 4.2 à 4.6).

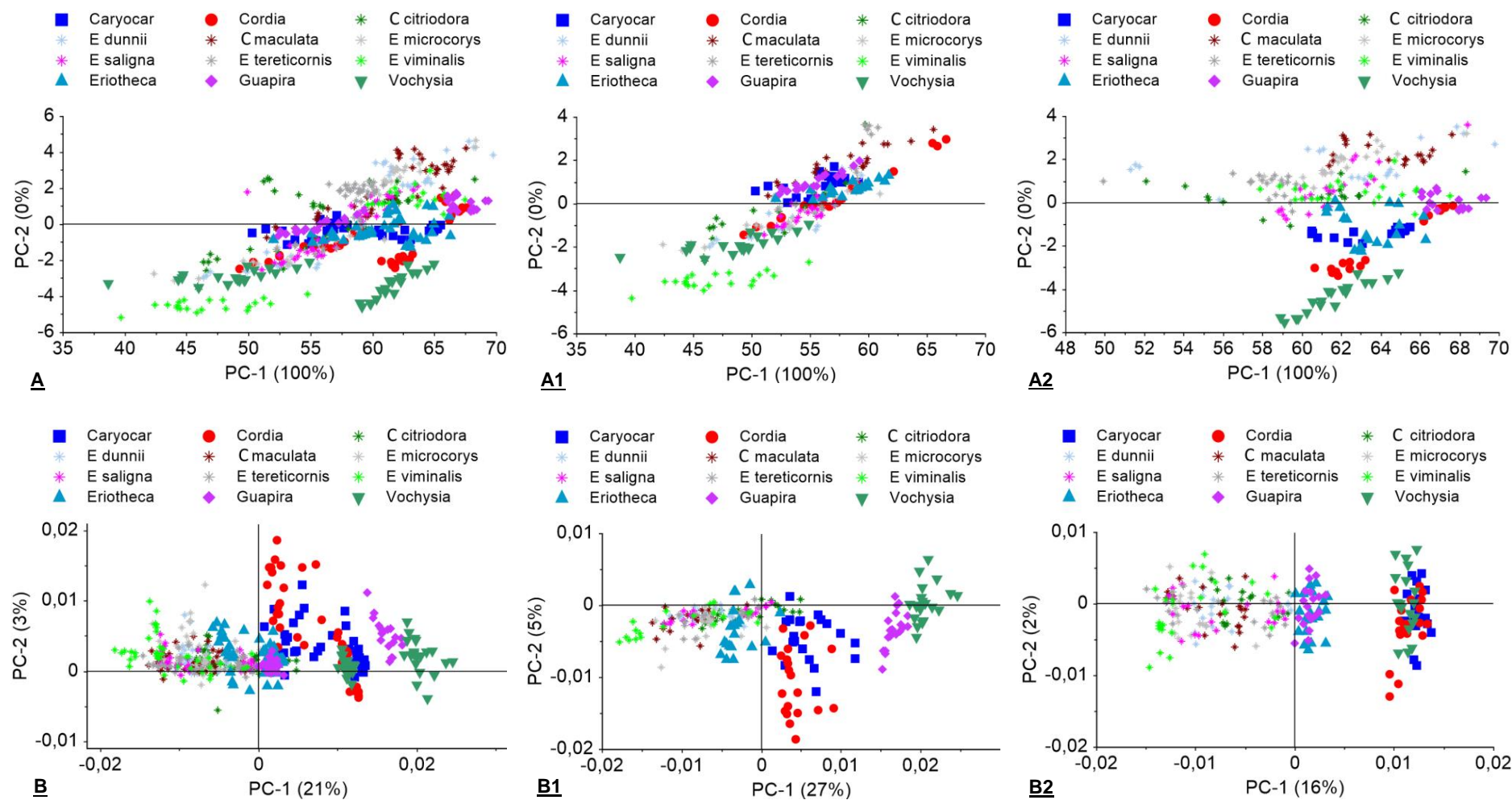
Prancha 4.1 - espectro médio original (A), espectro médio em segunda derivada (B); PCA médio original (C); PCA médio em segunda derivada (D).



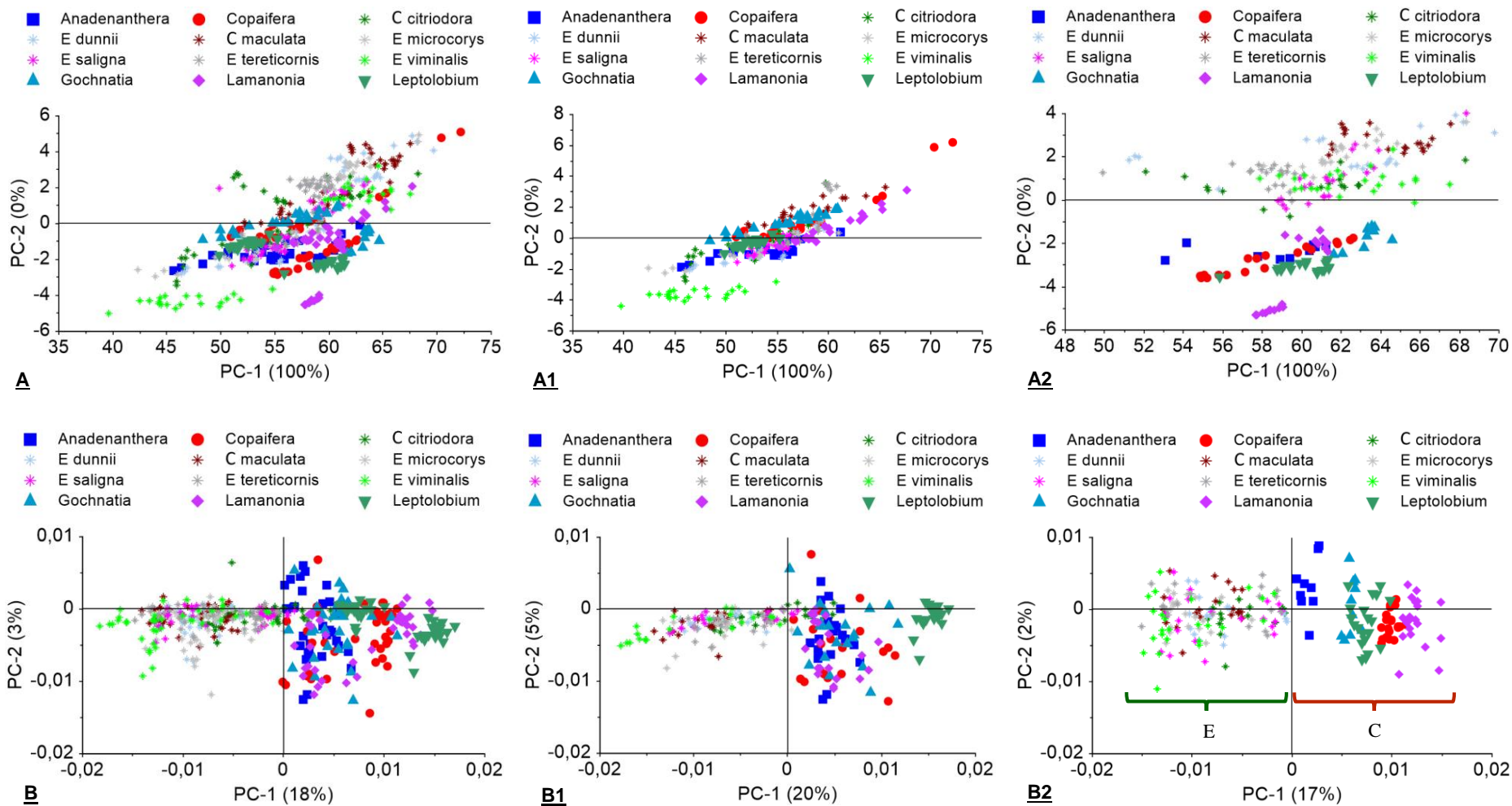
Prancha 4.2 - Grupo 01: PCA dos dados originais (A) e em segunda derivada (B), todos os planos (A, B), planos longitudinais (A1, B1) e transversais (A2, B2). Figura B2 corresponde ao melhor resultado; sendo “E” e “C” referentes aos espectros das espécies de eucalipto e do cerrado, respectivamente.



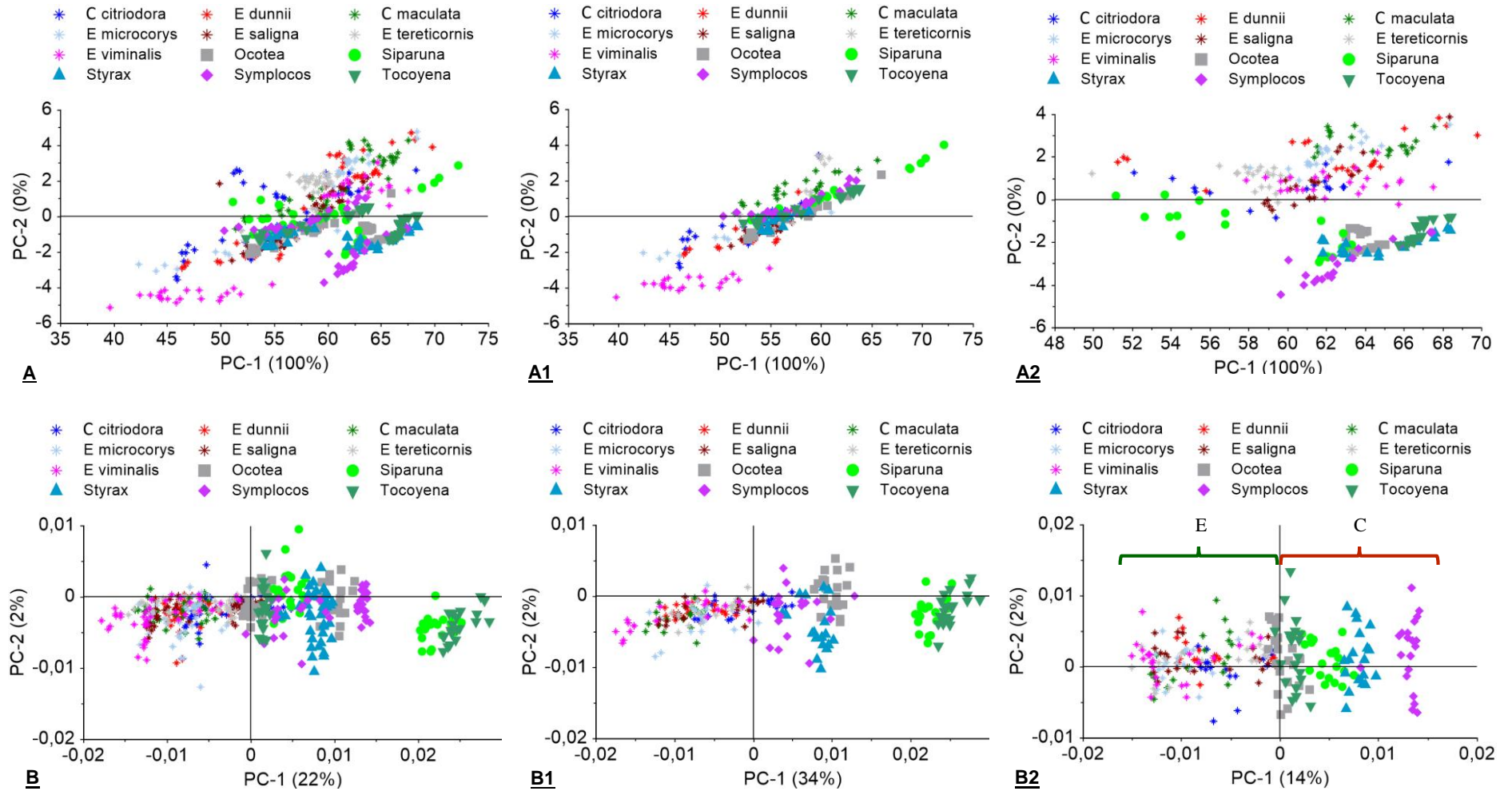
Prancha 4.3 - Grupo 02: PCA dos dados originais (A) e em segunda derivada (B), todos os planos (A, B), planos longitudinais (A1, B1) e transversais (A2, B2). Figura B1 corresponde ao melhor resultado porque não agrupou as espécies do cerrado como em B2.



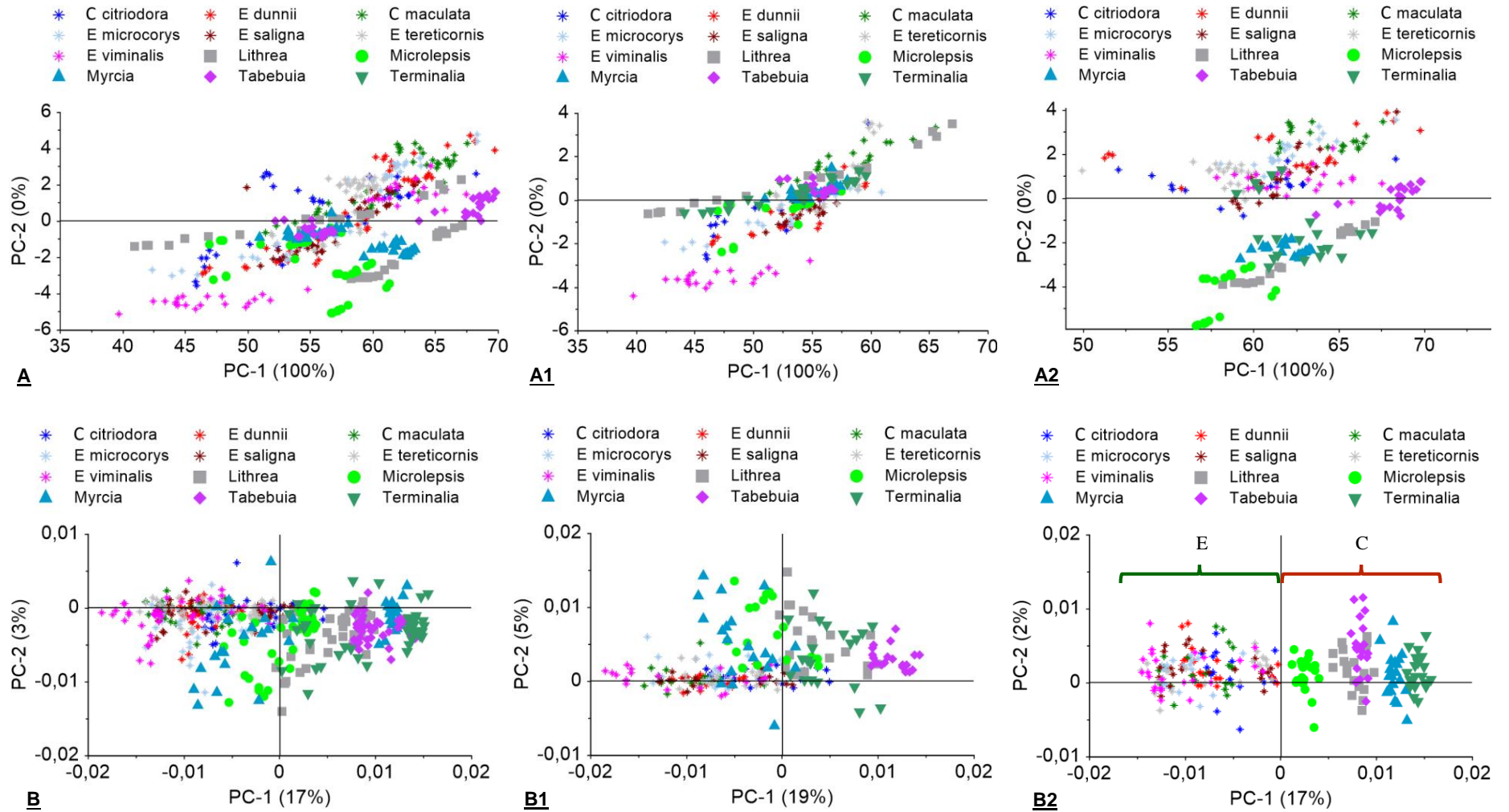
Prancha 4.4 - Grupo 03: PCA dos dados originais (A) e em segunda derivada (B), todos os planos (A, B), planos longitudinais (A1, B1) e transversais (A2, B2). Figura B2 corresponde ao melhor resultado; sendo “E” e “C” referentes aos espectros das espécies de eucaliptos e do cerrado, respectivamente.



Prancha 4.5 - Grupo 04: PCA dos dados originais (A) e em segunda derivada (B), todos os planos (A, B), planos longitudinais (A1, B1) e transversais (A2, B2). Figura B2 corresponde ao melhor resultado; sendo “E” e “C” referentes aos espectros das espécies de eucaliptos e do cerrado, respectivamente.



Prancha 4.6 - Grupo 05: PCA dos dados originais (A) e em segunda derivada (B), todos os planos (A, B), planos longitudinais (A1, B1) e transversais (A2, B2). Figura B2 corresponde ao melhor resultado; sendo "E" e "C" referentes aos espectros das espécies de eucalipto e do cerrado, respectivamente.



Na Prancha 4.1, a figura A representa o espectro médio original considerando o número de ondas (cm^{-1}) e a porcentagem da absorbância. As linhas de cores distintas representam a média dos espectros por espécie. Embora os picos sejam semelhantes e, de uma maneira geral, haja poucas diferenças entre as espécies, ainda assim é possível notar a distinção entre as linhas.

A figura B (Prancha 4.1) representa o espectro médio da segunda derivada, as bandas correspondem aos polímeros. Schwanninger *et al.* (2011) desenvolveram uma extensa revisão bibliográfica sobre as bandas e seus agrupamentos químicos correspondentes, assim, é possível vincular algumas regiões mais intensas nos carvões como por exemplo: (i) $7410\text{-}7400\text{ cm}^{-1}$ – grupos éster acético em hemiceluloses, lignina (7410 cm^{-1}) e todos os componentes de madeira após acetilação; (ii) $7321\text{-}7315\text{ cm}^{-1}$ – celulose; (iii) 7215 cm^{-1} – grupos OH isolados e combinações CH; (iii) $7003\text{-}6993\text{ cm}^{-1}$ – regiões amorfas da celulose, água, OH de grupos livres ou com fracas ligações H, polissacarídeos amorfos, entre outros; (iv) $6974\text{-}6954\text{ cm}^{-1}$ – água; (v) $6790\text{-}6775\text{ cm}^{-1}$ – regiões semicristalinas da celulose; (vi) 5577 cm^{-1} – celulose; (vii) $5245\text{-}5236\text{ cm}^{-1}$ – hemiceluloses; (viii) 4686 cm^{-1} – lignina. Vale a pena ressaltar que a faixa de $12800\text{-}7000\text{ cm}^{-1}$ é raramente usada para avaliação qualitativa, sendo influenciada pelo tamanho da partícula e, especialmente, por alterações de cor que podem ser vistos, por exemplo, em madeiras termorretrificadas (e.g. Schwanninger *et al.*, 2004; Mitsui *et al.*, 2008).

A figura C (Prancha 4.1) representa a análise original dos componentes principais da média (PCA) por espécie. Houve distinção entre a maioria das espécies. De um modo geral, os eucaliptos ficaram bem separados, salvo *E. viminalis* que ficou bem próximo de *Anadenanthera peregrina* var. *falcata*. As outras espécies também se apresentaram bem distintas, e.g. *Cordia sellowiana*, *Eriotheca gracilipes*, *Guapira noxia*, *Lamanonia ternata*, *Gochnatia polymorpha*, *Tabebuia aurea*, *Tocoyena formosa* e *Vochysia tucanorum*. Por outro lado, várias espécies ficaram sobrepostas, como *Copaifera langsdorffii*, *Lithrea molleoides*, *Ouratea spectabilis*, *Styrax ferrugineus* e *Symplocos pubescens*, limitando a identificação das mesmas.

Já na análise do PCA em segunda derivada (Prancha 4.1, D), a distinção dos eucaliptos se tornou mais evidente, inclusive *E. viminalis* foi distanciado de *Anadenanthera peregrina* var. *falcata*. Também houve maior distinção entre outras espécies que estavam sobrepostas no gráfico do PCA da média original, e.g. *Annona*

crassiflora, *Ficus guaranítica* e *Ouratea spectabilis*; maior distinção em *Cordia sellowiana* e *Gochnatia polymorpha*. Enquanto, espécies como *Lamanonia ternata* e *Tabebuia aurea* que estavam distintas no gráfico do PCA, ficaram praticamente indistintas na segunda derivada. Essa sobreposição de espécies pode ser atribuída às características químicas, além das anatômicas. Como o enfoque do trabalho é exclusivamente anatômico, não podemos justificar o porquê da distinção ou sobreposição entre as espécies, apenas constatamos que o espectrofotômetro de infravermelho próximo distingue as espécies também com base nos tipos anatômicos.

– Grupo 01 –

No gráfico de PCA original de todos os planos de corte (Prancha 4.2, fig. A), embora haja sobreposição de algumas espécies, é possível notar a diferenciação entre elas pela coloração e formato dos símbolos referentes a cada espécie. No geral, os eucaliptos ficaram bem separados e também é possível distinguir as demais espécies. Foi possível notar a separação entre as seções transversais e longitudinais especialmente no caso de *Myrsine umbellata*, *Roupala montana* e *Ouratea spectabilis*, é possível perceber tal fato pelos dois agrupamentos distintos em cada espécie. Já na segunda derivada (Prancha 4.2, fig B), a mesma separação das seções ficou mais evidente nas espécies citadas e também em *Ficus guaranítica*. Por outro lado, para os eucaliptos e *Annona crassiflora* não foi possível tal distinção, tendo em vista o agrupamento mais homogêneo.

No gráfico de PCA original dos planos de corte longitudinais (Prancha 4.2, fig A1), os eucaliptos ficaram muito próximos, salvo *E. viminalis* que ficou na parte inferior e bem diferenciada. Embora haja proximidade entre as espécies do cerrado, de uma forma geral, é possível perceber diferenciação entre elas, algo que pode ser evidenciado com os agrupamentos dos espectros e padrão de distribuição. Na segunda derivada (Prancha 4.2, fig B1), a espécie que mais se diferenciou foi *Annona crassiflora*. Como outras espécies desse grupo também têm raios largos, podemos atribuir essa diferenciação à quantidade de cristais. Mas há fortes possibilidades de que seja devido à quantidade de extrativos remanescentes na espécie, inclusive muitos deles possuem atividade fungicida e anticancerígena (SOUZA *et al.*, 2002). *Ficus guaranítica* e *Roupala montana* ficaram com seus espectros muito próximos, embora a primeira espécie seja abundante em parênquima axial e a segunda em radial

não foram encontradas justificativas pela análise anatômica para a proximidade de ambas, exclusivamente pela análise anatômica. As espécies *Myrsine umbellata* e *Ouratea spectabilis* possuem raios muito largos, já os dos eucaliptos são muito finos, entretanto, essas espécies ficaram muito próximas no gráfico. Contudo, há grupamentos bem específicos, sendo que os que mais se destacaram foram *Annona crassiflora*, *Ficus guaranitica* e *Roupala montana*.

O gráfico de PCA original do plano de corte transversal (Prancha 4.2, Fig A2) separou claramente as espécies. Todos os eucaliptos ficaram bem distintos predominantemente na parte superior a linha base, e as espécies do cerrado na parte inferior. Os espectros que ficaram mais agrupados foram os de *Annona crassiflora*, *Myrsine umbellata* e *Ouratea spectabilis*. Na segunda derivada (Prancha 4.2, Fig B2), os eucaliptos permaneceram bem distintos das espécies do cerrado. Os espectros de *Ficus guaranitica* e *Roupala montana*, que estavam com distribuição horizontal no gráfico de PCA original e ficaram agrupados de forma mais homogênea na segunda derivada. Houve uma ligeira mistura entre *M. umbellata* e *O. spectabilis*, ambas apresentaram melhor distinção no gráfico de PCA original. A espécie *A. Crassiflora* manteve-se bem distinta, entretanto o agrupamento no gráfico de PCA original ficou melhor do que na segunda derivada.

– Grupo 02 –

No gráfico de PCA original de todos os planos de corte (Prancha 4.3, Fig A), houve clara distinção entre as seções transversais e longitudinais para a maioria das espécies, especialmente nos eucaliptos, *Cordia sellowiana*, *Guapira noxia* e *Vochysia tucanorum*. Embora *Caryocar brasiliense* e *Eriotheca gracilipes* tenham ficado com os seus espectros mais misturados, também foi possível fazer a distinção entre eles. Na segunda derivada (Prancha 4.3, Fig B) os eucaliptos se mantiveram bem distintos e, mesmo que alguns espectros das espécies do cerrado tenham ficados próximos e sobrepostos, e.g. *E. gracilipes*, ainda assim houve distinção entre elas.

No gráfico de PCA original dos planos de corte longitudinais (Prancha 4.3, Fig A), novamente *E. viminalis* foi a espécie que mais se distinguiu, seguida de *Vochysia tucanorum*. As demais espécies se apresentaram mais unidas e sobrepostas, entretanto, ainda foi possível realizar a identificação da grande maioria delas. Na segunda derivada (Prancha 4.3, Fig B1), novamente os eucaliptos ficaram mais

agrupados, tornando-se praticamente inviável distinguir *E. viminalis*. As espécies *V. tucanorum* e *Guapira noxia* foram as mais distintas. Houve proximidade entre *Caryocar brasiliense* e *Cordia sellowiana*, mas ambas se diferenciaram. Os espectros de *Eriotheca gracilipes* também se apresentaram bem próximos dos eucaliptos, mesmo assim podem ser distintos.

No gráfico de PCA original dos planos de corte transversais (Prancha 4.3, Fig A2), houve boa separação entre todas as espécies, especialmente os eucaliptos, *Vochysia tucanorum*, *Caryocar brasiliense* e *Guapira noxia*. Os espectros de *Cordia sellowiana* e *Eriotheca gracilipes* também se distinguiram, mas ficaram mais espalhados e próximos de outras espécies. Na segunda derivada (Prancha 4.3, Fig B2), os eucaliptos ficaram totalmente distintos das demais espécies. Houve a nítida separação das demais espécies em dois grupamentos: (i) *E. gracilipes* e *G. noxia*; (ii) *C. brasiliense*, *C. sellowiana* e *V. tucanorum*. Houveram algumas semelhanças entre o primeiro grupo, como tamanho grande dos vasos em *E. gracilipes*, já em *G. noxia* o rompimento do floema incluso resultou em espaços vazios semelhantes a vasos; há uma probabilidade que esse seja um dos fatores que fez com que as espécies se agrupassem. No segundo grupo, há semelhanças visuais entre os espaços vazios das células (e.g. vasos, fibras e parênquima), contudo, não há justificativa na anatomia que comprovem o fato da análise de PCA da segunda derivada ter agrupado essas espécies. Assim, fica evidente a necessidade de se avaliar o gráfico do PCA original e da segunda derivada, sendo que os dois possuem resultados importantes e devem ser analisados em conjunto.

– Grupo 03 –

No gráfico do PCA original de todos os planos de corte (Prancha 4.4, Fig A), embora seja possível distinguir as espécies, como eucaliptos (principalmente *E. viminalis*), *Gochnatia polymorpha*, *Lamanonia ternatae* e *Leptolobium elegans*; de uma forma geral, os espectros se apresentaram muito misturados. Na segunda derivada (Prancha 4.4, Fig B), os eucaliptos ficaram bem separados das espécies do cerrado. Por outro lado, as demais espécies ficaram muito próximas entre si. Houve maior homogeneidade nos espectros de *Anadenanthera peregrina* var. *falcata* e *L. elegans*; na primeira houve maior distribuição vertical; já na segunda houve maior distinção em dois grupos. As demais espécies apresentaram-se mais dispersas.

No gráfico do PCA original dos planos de corte longitudinais (Prancha 4.4, Fig A1), a espécie que mais se diferenciou foi *E. viminalis*, as outras ficaram muito próximas entre si. Na segunda derivada (Prancha 4.4, Fig B1), os eucaliptos ficaram bem distintos das espécies do cerrado. Os espectros de *Leptolobium elegans* ficaram bem isolados dos demais. Considerando as duas espécies de Fabaceae analisadas, a *Anadenanthera peregrina var. falcata* ficou bem agrupada, contudo *Copaifera langsdorffii* teve a os seus espectros bem dispersos, ambas apresentaram distribuição mais evidenciada no PCA original. As espécies *Gochnatia polymorpha* e *Lamanonia ternata* apresentaram distribuição semelhante a *C. langsdorffii*, essas espécies também estavam mais distintas no gráfico de PCA original.

No gráfico de PCA original dos planos de corte transversais (Prancha 4.4, Fig A2), assim como na análise anatômica, a resposta do plano de corte transversal foi superior aos planos longitudinais. Além da já esperada distinção dos eucaliptos, todas as espécies do cerrado também se apresentaram bem distintas. Embora algumas espécies, como *Copaifera langsdorffii* e *Leptolobium elegans* tenham apresentado maior distribuição, é possível perceber os grupamentos bem delimitados por espécie. Na segunda derivada (Prancha 4.4, Fig B2) os eucaliptos se apresentaram completamente distintos, assim como no gráfico do PCA original. As espécies do cerrado também apresentaram baixa sobreposição entre os espectros, e.g. *Gochnatia polymorphae* L. *elegans*, mas de uma forma geral os agrupamentos foram muito bem caracterizados promovendo boa identificação entre as espécies.

– Grupo 04 –

No gráfico do PCA original de todos os planos de corte (Prancha 4.5, Fig A), os eucaliptos mantiveram o seu padrão de distinção. Apesar da sobreposição existente entre as demais espécies, é possível notar o agrupamento entre elas e os espectros de *E. viminalis* bem diferenciados. Na segunda derivada (Prancha 4.5, Fig B), a separação dos espectros de eucaliptos se tornou mais evidente, embora ainda ocorram alguns espectros misturados com aqueles das espécies do cerrado. A espécie que apresentou distribuição mais homogênea foi *Styrax ferrugineus*. As demais espécies apresentaram a típica divisão dos espectros em dois grupamentos equivalentes ao plano de corte transversal e aos planos de corte longitudinais.

No gráfico do PCA original dos planos de corte longitudinais (Prancha 4.5, Fig A1), os eucaliptos mantiveram o padrão. Embora seja possível reconhecer os espectros das espécies do cerrado, houve grande proximidade entre eles. Na segunda derivada (Prancha 4.5, Fig B1), os eucaliptos permaneceram bem distintos das espécies do cerrado. Contudo, alguns espectros de *C. citriodora* ficaram próximos de *Symplocos pubescens*, mesmo assim, é possível notar a distinção entre os agrupamentos. As espécies *Siparuna brasiliensis* e *Tocoyena formosa* apresentaram seus agrupamentos mais distantes das demais espécies, embora tenham planos longitudinais relativamente parecidos, não podemos justificar esse fato puramente pela anatomia.

No gráfico de PCA original dos planos de corte transversais (Prancha 4.5, Fig A2), os eucaliptos mantiveram o seu padrão de distinção. A espécie que apresentou maior dispersão foi *Siparuna brasiliensis*, mas ainda sim se manteve distinta das demais. As demais espécies ficaram mais próximas umas das outras, entretanto é possível identificar seus agrupamentos. Na segunda derivada (Prancha 4.5, Fig B2), alguns espectros de eucaliptos ficaram próximos de *Ocotea corymbosa* e *Tocoyena formosa*, mas, de uma maneira geral, continuaram bem separados. Os agrupamentos que ficaram melhores definidos foram os de *Symplocos pubescens*, *Styrax ferrugineus* e *S. brasiliensis*.

– Grupo 05 –

No gráfico de PCA original de todos os planos de corte (Prancha 4.6, Fig A), os eucaliptos mantiveram o seu padrão de distinção. É possível notar os agrupamentos dos planos de corte longitudinais e transversais das espécies do cerrado. No gráfico da segunda derivada (Prancha 4.6, Fig B), os eucaliptos mantiveram o seu padrão. Houve proximidade dos espectros dos eucaliptos com *Myrcia bella* e *Microlepis oleifolia*. Esperávamos que *M. bella* fosse se aproximar mais dos eucaliptos, devido às espécies serem da mesma família. Entretanto, é possível notar que *M. bella* foi bem distinta em dois agrupamentos. A espécie que apresentou o agrupamento mais homogêneo foi *Tabebuia aurea*.

No gráfico de PCA original dos planos de corte longitudinais (Prancha 4.6, Fig A1), vários espectros dos eucaliptos ficaram próximos das espécies do cerrado, salvo *E. viminalis*. No geral, as espécies do cerrado mantiveram seus espectros muito

dispersos, salvo *Tabebuia aurea* que apresentou agrupamento diferenciado dos seus espectros. Na segunda derivada (Prancha 4.6, Fig B1), os eucaliptos se mantiveram bem distintos e próximos da linha base. Embora a maioria das espécies do cerrado tenham apresentado seus espectros mais dispersos, é possível notar a diferença entre eles, sendo que novamente *T. aurea* teve seus espectros concentrados num agrupamento diferenciado das demais. Não encontramos explicações na anatomia para o comportamento de *T. aurea* ter sido diferente das demais espécies em ambos os gráficos de PCAs.

Na análise dos gráficos de PCA original dos planos de corte transversais (Prancha 4.6, Fig A2), os eucaliptos mantiveram seu padrão de distinção, assim como *Tabebuia aurea* e *Myrcia bella*. As espécies *Terminalia glabrescens*, *Microlepis oleifolia* e *Lithrea molleoides* apresentaram seus espectros mais dispersos, mas ainda assim é possível diferenciá-las. Na segunda derivada (Prancha 4.6, Fig B2), a distinção das espécies foi evidente, as únicas espécies que tiveram seus espectros muito próximos entre si foram *T. aurea* e *L. molleoides*, entretanto, é possível diferenciar os agrupamentos delas.

Talvez a maior diferença entre o presente trabalho e os outros que utilizaram NIR para analisar carvões, tenha sido a metodologia. Na maioria deles os carvões foram moídos (LABBEÉ *et al.*, 2006; BARCELLOS, 2007; CAMPOS, 2008; DAVRIEUX *et al.*, 2010; MONTEIRO *et al.*, 2010; HEIN *et al.*, 2013). Destes, apenas dois conseguiram separar 4 e 2 espécies carbonizadas (LABBEÉ *et al.*, 2006; DAVRIEUX *et al.*, 2010), respectivamente. O trabalho de Monteiro *et al.* (2010) conseguiu separar os sistemas de carbonização industrial e laboratorial, mas não as espécies. Apenas dois trabalhos aliaram anatomia dos carvões e metodologia semelhante (MUÑIZ *et al.*, 2012; NISGOSKI *et al.*, 2015), as espécies escolhidas também apresentaram alterações no tipo do parênquima axial, parênquima radial, espessura das fibras, entre outras, além disso, todas elas se apresentaram bem distintas na análise dos componentes principais.

De uma forma geral, a anatomia dos carvões não permitiu justificar por si só os agrupamentos dos espectros e as separações entre as espécies. Tendo em vista que o NIR fornece uma resposta química, pode-se constatar que a composição química do carvão das espécies foi o que realmente interferiu na análise do NIR. Vale a pena

ressaltar que o fato dos espectros terem sido obtidos em carvões previamente quebrados e orientados promove uma maior diferenciação química de acordo com a superfície de leitura, ou seja, região onde o feixe luminoso foi incidido, e.g. região dos vasos, parênquima axial, fibras, raios, entre outras. Por não ter havido homogeneização das espécies ao moer os carvões, foi possível maior amplitude espectral. Também houve variação nos gráficos de PCA com dados originais e na segunda derivada, comprovando que o pré-tratamento dos dados influencia, entretanto, recomendamos que as duas análises sejam levadas em consideração e estudadas em conjunto.

CONCLUSÕES

O presente trabalho demonstrou resultados promissores entre a associação da técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) e a anatomia de carvões. Obtivemos sucesso na identificação entre as espécies de eucaliptos e as nativas do cerrado paulista. Considerando que o foco do trabalho na anatomia dos carvões e a análise em NIR fornece uma resposta química, não se pode justificar o porquê da distinção ou sobreposição entre as espécies, apenas constatamos que a técnica também distingue as espécies com base nos tipos anatômicos. Há a necessidade de se realizar a análise PCA com os dados originais e em segunda derivada em conjunto, uma vez que, dependendo do grupo de espécies avaliado, em alguns casos a discriminação pode ser mais adequada com os dados sem pré tratamento, e em outros casos a segunda derivada é mais eficiente. Houve influência do plano de corte analisado e, de maneira geral, as espécies formaram grupos distintos. Vale a pena ressaltar que as análises apresentadas ainda são preliminares e outros estudos com o mesmo enfoque devem ser desenvolvidos. Considerando a nossa extensa e pouco conhecida flora nativa, a criação de banco de dados e todos os estudos que envolvam anatomia e novas técnicas aplicadas à fiscalização são necessários.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, C.R. **Espectroscopia no infravermelho próximo para predizer propriedades da madeira e do carvão de plantio clonal de *Eucalyptus* sp.** Lavras, 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira), Universidade Federal de Lavras, MG, 2009.

ANDRADE, C.R. *et al.* Near infrared spectroscopy for estimating eucalyptus charcoal properties. **J Near Infrared Spectrosc**, v. 20, p. 657-666, 2012.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM E1655**: Standard practices for infrared multivariate, quantitative analysis. v. 03.06. Pennsylvania, USA. 2012

BARCELLOS, D.C. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de Espectroscopia no Infravermelho Próximo.** Viçosa, 140 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, MG, 2007.

BLANCO, M; VILLARROYA, I. NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. **Trends in analytical chemistry**, v. 21, n. 4, p. 240-250, 2002.

CAMPOS, A. C. M. **Carvão de *Eucalyptus*: efeito dos parâmetros da pirólise sobre a madeira e seus componentes químicos e predição da qualidade pela espectroscopia NIR.** Lavras 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, MG, 2008.

DAVRIEUX, F. *et al.* Discrimination of native wood charcoal by infrared spectroscopy. **Quim. Nova**, v. 33, n. 5, p. 1093-1097, 2010.

HEIN, P.R.G. *et al.* Feasibility of using NIR spectroscopy for monitoring the charcoal quality. *In*: 16th INTERNATIONAL CONFERENCE OF NEAR INFRARED SPECTROSCOPY, La grande Motte. **Annals...** Montpellier: Irstea, v. 16, p. 274-275, 2013.

LABBÉ, N.D. *et al.* Chemical structure of wood charcoal by infrared spectroscopy and multivariate analysis. **Agric. Food Chem.**, v 54, p. 3492-3497, 2006.

METROHM. **NIR Spectroscopy** – a guide to near-infrared spectroscopic analysis of industrial manufacturing processes. Switzerland, 44 p. 2014.

MITSUI, K.; INAGAKI, T; TSUCHIKAWA, S. Monitoring of hydroxyl groups in wood during heat treatment using NIR spectroscopy. **Biomacromolecules**, v. 9, n. 1, p. 286, 2008.

MONTEIRO, T.C. *et al.* Use of near infrared spectroscopy to distinguish carbonization processes and charcoal sources. **Cerne**, v. 16, p. 381-390, 2010.

MUÑIZ, G.I.B. *et al.* Fundamentos e estado da arte da espectroscopia no infravermelho próximo no setor de base florestal. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 865-875, 2012.

MUNIZ, G.I.B. *et al.* SEM and NIR characterization of four forest species charcoal. **Wood Sci. Tech.**, v. 1, p. 10-22, 2013.

NISGOSKI, S. *et al.* NIR and anatomy of wood and charcoal from Moraceae and Euphorbiaceae species. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 3, p. 183-190, 2015.

OLIVEIRA, R.A; SILVA, A.P.B da. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, 4603, 2014.

SCHIMLECK, L.R. *et al.* Applications of NIR spectroscopy to forest research. **Appita J.**, v 53, p. 458-464, 2000.

SCHWANNINGER, M.; RODRIGUES J.C.; K. FACKLER, J. A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components. **Near Infrared Spectrosc.**, v. 19, p. 287-308, 2011

SCHWANNINGER, M. *et al.* Application of Fourier transform near infrared spectroscopy (FTFT-NIR) to thermally modified wood. **Holz Roh Werkst**, v.62, n. 6, p. 483-485, 2004.

SO, C.-L. *et al.* Near Infrared (NIR) Spectroscopy in the Forest Products Industry. **Forest Products Journal**, v. 54, n. 3, p. 8-18, 2004.

SOUZA, L.K.H *et al.* Antifungal properties of Brazilian Cerrado plants. **Brazil J. Microbiol.**, v. 33, p. 247-249, 2002.

TSUCHIKAWA, S. A review of recent near infrared research for wood and paper. **Appl. Spectrosc. Rev.**, v. 42, n. 1, p. 43-71, 2007.

TSUCHIKAWA, S.; KOBORI, H. A review of recent application of near infrared spectroscopy to wood science and technology. **J. Wood Sci.**, v. 61, p. 213-220, 2015.

TSUCHIKAWA, S.; SCHWANNINGER, M. A Review of Recent Near-Infrared Research for Wood and Paper (Part 2). **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 48, n. 7, p. 560-587, 2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fiscalização da cadeia produtiva de carvão vegetal é um dos fatores mais limitantes para garantir a sustentabilidade da atividade. É necessário disseminar conhecimento técnico-científico aos fiscais e aprimorar meios de identificação imediata dos carvões. Ao mesmo tempo, é imprescindível que os estudos de caracterização e identificação de carvões sejam desenvolvidos como ciência de base e para desenvolver novas tecnologias.

Embora alguns laboratórios e centros de pesquisa realizem a identificação de apreensões quando requisitados por agentes governamentais, o alcance desse trabalho ainda é muito pequeno, especialmente comparado ao tamanho do país. Além disso, é praticamente inexistente a produção científica das laudas de identificação, que se fossem divulgadas poderiam facilitar o trabalho de outros profissionais que encaram os mesmos desafios.

Com a presente tese, foi possível comprovar dados empíricos, como todo o material lenhoso da área é utilizado no processo de carbonização, e.g. galhos e lianas. Devido às questões taxonômicas e técnicas, a identificação do material foi realizada principalmente ao nível de famílias. Os efeitos decorrentes da carbonização, como rupturas e vitrificação, não comprometeram a identificação do material. Os resultados apresentados estão de acordo com o esperado para regiões de Mata Atlântica. Constatamos que a identificação de carvões tem potencial para se tornar uma ferramenta efetiva na fiscalização, mesmo com a carência de estudos de caracterização anatômica.

Em se tratando da caracterização, foram estudadas 32 espécies, sete eucaliptos e 25 nativas do cerrado paulista. No caso dos eucaliptos, duas espécies de *Corymbia* e cinco de *Eucalyptus* foram caracterizadas em microscopia eletrônica de varredura, com o objetivo primário de demonstrar algumas variações entre as espécies. Tendo em vista que os eucaliptos são largamente utilizados para a produção de carvão vegetal e a madeira dessas espécies difere das nativas, o conhecimento dessas árvores australianas é essencial para a fiscalização. Com relação às espécies do cerrado, a análise apresentada foi a macroscópica, visando simular as condições reais dos fiscais florestais, pois em muitos casos não há a possibilidade de levar o material ao laboratório e as respostas precisam ser dadas de imediato; não sugerimos

identificar carvões somente pela análise macroscópica, entretanto, assim como na madeira, deve ser o primeiro passo e ela poderá conceder orientações para futuras identificações de gêneros ou espécies.

Quanto ao desenvolvimento de novas tecnologias, foi testada a Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) para separação entre as espécies de carvões. Foi possível confirmar que o NIR é capaz de realizar a diferenciação com o mínimo de tratamento, principalmente entre as espécies de eucaliptos e as nativas do cerrado paulista. Entretanto, há a necessidade de desenvolvimento de banco de dados com espectros de carvões de espécies nativas; assim, certamente será possível identificar as espécies considerando apenas o NIR.

De uma forma geral, pode-se constatar que a anatomia dos carvões e o uso do NIR tem potencial para serem aliados na fiscalização. As recomendações desta tese consistem em expandir e divulgar o conhecimento sobre carvões, podendo ser resumidas em:

- (i) ampliar os estudos em caracterização anatômica e identificação;
- (ii) desenvolver bancos de dados com anatomia e espectros de NIR;
- (iii) treinamento dos agentes fiscalizadores em anatomia.