

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ROZIMEIRY GOMES BEZERRA GASPAR

ENXERTIA DE COPA E PREDIÇÃO DE HÁBITOS DE CRESCIMENTO EM
Araucaria angustifolia (BERTOL.) KUNTZE

CURITIBA

2018

ROZIMEIRY GOMES BEZERRA GASPAR

ENXERTIA DE COPA E PREDIÇÃO DE HÁBITOS DE CRESCIMENTO EM
Araucaria angustifolia (BERTOL.) KUNTZE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Silvicultura, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Camargo Angelo

Co-orientadores: Dr. Ivar Wendling

Prof. Dr. Antonio Carlos Nogueira

CURITIBA

2018

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

Gaspar, Rozimeiry Gomes Bezerra

Enxertia de copa e predição de hábitos de crescimento em *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze / Rozimeiry Gomes Bezerra Gaspar. – Curitiba, 2018.

76 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Camargo Angelo

Coorientadores: Dr. Ivar Wendling

Prof. Dr. Antonio Carlos Nogueira

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 22/02/2018.

Área de concentração: Silvicultura.

1. Árvores - Crescimento. 2. Pinheiro-do-paraná. 3. Enxertia. 4. Espectroscopia de infravermelho. 5. Troncos (Botânica). 6. Teses. I. Angelo, Alessandro Camargo. II. Wendling, Ivar. III. Nogueira, Antonio Carlos. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.53

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL

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 **ROZIMEIRY GOMES BEZERRA GASPAR** intitulada: **ENXERTIA DE COPA E PREDIÇÃO DE HÁBITOS DE CRESCIMENTO EM *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO. no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 22 de Fevereiro de 2018.

ALESSANDRO CAMARGO ANGELO
Presidente da Banca Examinadora

KAREN KOCH FERNANDES DE SOUZA
Avaliador Externo

SANDRA REGINA CABELL
Avaliador Externo

IVAR WENDLING
Avaliador Externo

CRISTIANE VIEIRA HELM
Avaliador Externo



DEDICO

*A Deus, por me ser essencial, é Ele o autor, o protetor e o guia da minha vida.
Ao amor da minha vida, Christian, pelo amor e apoio incondicional em todos os momentos.*

*Aos meus pais amados, Antonia e Benedito (**in memorian**), pelo exemplo de retidão, amor, fortaleza, dedicação e fé.*

GRATIDÃO ETERNA

Gratidão a esse nosso Deus misericordioso e a nossa mãezinha, Nossa Senhora, que protegem a todos nós, fortalecendo a nossa fé, iluminando e guiando nosso caminho, dando perseverança em todos os momentos das nossas vidas.

Gratidão a toda a minha família de sangue, de coração e de alma.

*"Deus nos concede, a cada dia, uma página de vida nova no livro do tempo.
Aquilo que colocarmos nela, corre por nossa conta."*

Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

*“Não existe um caminho para a felicidade. A felicidade é o caminho.”
Mahatma Gandhi*

Gratidão a Deus pela vida e tudo que nela tem.

Gratidão ao meu esposo Christian, por ser minha fortaleza e fonte de felicidade.

Gratidão à minha mãezinha amada, Antonia, pelo apoio e amor incondicional, pelos sacrifícios realizados em prol da educação e felicidade de seus filhos.

Gratidão ao meu pai amado, Benedito (*in memorian*), meu herói presente em todos os dias da minha vida.

Gratidão aos meus irmãos e cunhados, Neto, Dito, Ivan, Ivana e Drika, Adomice, Aída, Luis, Wal, pelo amor, apoio e a certeza de sempre poder contar em todos os momentos.

Gratidão aos meus amados enteados, Laura e Nicolas, aos meus sogros, Raquel e Jurandir, e ao Billy, pela alegria e prazer ao tê-los como família de coração.

Gratidão às minhas tias amadas, Maria de Lourdes, Tilica (*in memorian*), Lola, Diva, Elba, Leila, Rose, Marlene e Cirene, pela alegria de conviver e viver momentos deliciosos.

Gratidão aos meus sobrinhos de sangue e coração, Pedro, Murylo, Michelly, Gabriel, Amanda, Júlia, Nicolas, Kauã, Ivan, Rafaela, Gabriela, Daniela, Ana, Marlla, Victor, Bruninho, Anne Louise, Annabelle, Artur e Cecília.

Gratidão aos meus primos, de sangue e coração, Enise, Eby, João, Fátima, Deise, Deisenil, Pedro Paulo, Anail, Rai, Waluce, Bebel, Solange, Sérgio, Tati, Bia, Anita, Andreia, Kenya, Karyni, Katyani, Raquel, Rosiane, Rosiely, Rosely, Márcia, Thiago e todos os demais que fazem parte da minha vida desde a infância, sendo minhas fontes de inspiração diária de exemplo, dedicação, profissionalismo e por todas as alegrias compartilhadas e guardadas com amor.

Gratidão às minhas amigas amadas, Vera, Jussara, Laura, Elô, Marilda, Nelma, Marlene, Tatiana, Sirlei, Aline, Ana Paula, Marina e todas as demais que representam cada fase linda da minha vida, presentes em lembranças, pensamentos e convívio diário.

Gratidão a todos os meus familiares e amigos, pela troca de afeto, leveza, dom, luz, alegria de viver e conviver, sorrir, abraçar, brincar e amar.

Gratidão à Universidade Federal do Paraná e a seu Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade, aos professores pelo aprendizado.

Gratidão ao meu orientador, Alessandro Camargo Angelo, e coorientadores, Ivar Wendling e Antonio Carlos Nogueira, pela orientação, apoio e confiança no caminho da ciência, permitindo esta vitória.

Gratidão à Embrapa Florestas por disponibilizar a infraestrutura para desenvolver esta pesquisa e a todos os seus profissionais pelo apoio e auxílio durante desenvolvimento deste trabalho, em especial para o Ivar, Décio, Vero, Cristiane, Tiélidy, Fabrício, Dayanne, Washington e à estagiária Kelly.

Gratidão às queridas Francielen e Deborah pelo apoio, auxílio, orientação e companhia nas análises laboratoriais e almoços.

Gratidão aos membros da banca da pré-defesa, Überson, Karen, Ivar e Alessandro, e da defesa, Cristiane, Sandra, Karen, Ivar e Alessandro pelas valiosas contribuições.

Gratidão ao Carlos André e Überson pelas orientações e contribuições imprescindíveis neste trabalho.

Gratidão aos meus orientados e monitores, Marília, Thais, Murilo, Márcio, Patrícia, Leone, Jaqueline, Amanda, Stéphane, Sérgio, Anderson, Kelly, Juliana, Amanda, Vivian, Wanderson, Henrique, Islaine, Thaise, Ari, Maria Lucia, Matheus e todos os demais pela confiança, dedicação e profissionalismo.

Gratidão aos alunos queridos, que me inspiram diariamente para tentar ser uma professora e pessoa melhor.

Gratidão aos funcionários da pós-graduação, Reinaldo e David, da graduação, Vilma, Celso, Jislaine, Juliana, D. Ivone, da biblioteca, Sandra, Vilma, Cida e Berenice, e da portaria, Mari, por todo o auxílio, incentivo, orientação e apoio.

Gratidão a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

*“Agradeço a meu Deus toda vez que me lembro de vocês”.
Filipenses 1:3*

Então o Senhor Deus fez nascer do solo todo tipo de árvores agradáveis aos olhos e boas para alimento. E no meio do jardim estavam a árvore da vida e a árvore do conhecimento do bem e do mal.

GÊNESIS 2:9

RESUMO

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é uma espécie que possui grande potencial socioeconômico e conservacionista, em função dos seus diversos produtos madeireiros e não madeireiros. Dada a sua importância, é fundamental o desenvolvimento de pesquisa na área da silvicultura para o resgate dos materiais genéticos ameaçados de extinção e com grande potencial socioeconômico, bem como o estabelecimento de protocolos de multiplicação, cultivo e manejo desta espécie. O presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica, a influência da idade do porta-enxerto e do hábito de crescimento na enxertia de copa em araucária; assim como, avaliar a viabilidade de predição dos hábitos de crescimento dos ramos primários e troncos ortotrópicos em araucária de diferentes idades e épocas do ano com o uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), bem como a sua correlação com a concentração endógena de auxina (IAA). Para a enxertia de copa da araucária foram utilizados porta-enxertos de duas idades (8 e 35 anos), com enxertos originários de dois hábitos de crescimento (ramos primários e troncos ortotrópicos). Nesta avaliação, constatou-se que o uso de porta-enxertos mais jovem (8 anos) foi favorável à sobrevivência dos enxertos, especialmente quando utilizado os propágulos de ramos primários e quando a enxertia foi realizada durante o outono (71,87%). Para avaliar a eficiência da predição dos hábitos de crescimento dos ramos primários e tronco ortotrópico em araucária de diferentes idades com o uso da NIR, bem como a correlação dos hábitos com a concentração endógena de IAA, utilizou-se acículas de ramos primários e tronco ortotrópico de plantas com 3, 8 e 35 anos de idade. Foram realizados dois experimentos: 1) análise das acículas de ramos primários e tronco ortotrópico de materiais provenientes de diferentes genótipos de araucária por meio de NIR em conjunto com a regressão por mínimos quadrados parciais (PLS), com o uso do NIR portátil e de bancada; 2) análise hormonal (IAA) das acículas de ramos primários e tronco ortotrópico de materiais provenientes de diferentes genótipos de araucária. A calibração do NIR mostrou-se eficiente para uso na predição dos hábitos de crescimento dos ramos primários e do tronco ortotrópico de araucária. A concentração endógena de IAA teve boa correlação com os hábitos de crescimento, demonstrando ser uma ferramenta potencial para sua predição.

Palavras-chave: Araucária. Propagação vegetativa. Topgrafting. Espectroscopia no infravermelho próximo. Auxina.

ABSTRACT

Araucaria angustifolia is a species with great socio-economic and conservation potential due to its various timber and non-timber resources. Given this species socioeconomic importance, it is essential that research focuses on forestry to save endangered genetic material, and establish protocol for multiplication, cultivation, and management of this species. The objectives of this study were to assess the technical feasibility and influence of graft age and growth habit on top grafting in *Araucaria*, and to evaluate the feasibility of predicting growth habits of primary branches and orthotropic trunk of different ages using near-infrared spectroscopy (NIR), as well as their endogenous concentration of IAA. Top grafting of *Araucaria* was performed using rootstock of two ages (8 and 35 years), with grafts originating from two growth habits (primary branches and orthotropic trunk). We found that younger rootstocks (8 years) favored graft survival, especially with primary branch propagating material and grafting in Autumn (71.87%). We used needles from primary branches and orthotropic trunk of 3, 8, and 35-year-old plants to evaluate the prediction efficiency of growth habits of the primary branches and orthotropic trunk in *Araucaria* with the Near Infrared Spectroscopy (NIR) and calculated the correlation of habits with the endogenous concentration of IAA. Two experiments were carried out: 1- Analysis of the needles from primary branches and orthotropic trunk using different *Araucaria* genotypes by means of near-infrared spectroscopy (NIR) along with the regression of minimal Partial squares (PLS), using the portable and benchtop NIR; 2- Hormonal analysis (IAA) of needles from primary branches and orthotropic trunk from different *Araucaria* genotypes. The calibration of the NIR proved to be efficient to predict of growth habits of primary branches and orthotropic trunk of *Araucaria*. The endogenous concentration of IAA presented a good correlation with the growth habits, proving to be a potential prediction tool.

Key words: Araucária. Vegetative propagation. Top grafting. Near-infrared spectroscopy. Auxin.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - GRADIENTE DE JUVENILIDADE EM PLANTA ORIUNDA POR SEMENTE.....	24
FIGURA 4.1 - MAPA GERAL DE LOCALIZAÇÃO DA EMBRAPA FLORESTA.....	35
FIGURA 4.2 - MAPA DETALHADO DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
FIGURA 4.3 – PORTA-ENXERTOS (ÁRVORES) DE ARAUCÁRIAS ENXERTADAS, COM OITO (A) E TRINTA E CINCO (B) ANOS DE IDADE.....	37
FIGURA 4.4 - LIMPEZA DAS ACÍCULAS PARA A REALIZAÇÃO DA ENXERTIA	37
FIGURA 4.5 – ENXERTIA DE BORBULHIA DE PLACA: 4A - ABERTURA DA “JANELA” PARA RECEBIMENTO DO ENXERTO EM PLACA; 4B - COLOCAÇÃO DA BORBULHIA DE PLACA E AMARRIO COM FITILHO DE ENXERTIA; 4C – ENXERTO PRONTO; 4D – PLACAS DE IDENTIFICAÇÃO DE CADA ENXERTO.....	38
FIGURA 4.6 - VISUALIZAÇÃO DO PEGAMENTO E DA MORTALIDADE DOS ENXERTOS.....	39
FIGURA 4.7 - AVALIAÇÃO DO NÚMERO DE BROTOS E O COMPRIMENTO MÉDIO DOS BROTOS	39
FIGURA 4.8 - SOBREVIVÊNCIA DE ENXERTOS DE <i>A. angustifolia</i> EM FUNÇÃO DO HÁBITO DE CRESCIMENTO E IDADE DOS PORTA-ENXERTOS AOS 16 MESES APÓS A ENXERTIA REALIZADA NO OUTONO/2015.....	42
FIGURA 4.9 - SOBREVIVÊNCIA DE ENXERTOS DE <i>A. angustifolia</i> EM FUNÇÃO DO HÁBITO DE CRESCIMENTO E IDADE DO PORTA-ENXERTO AOS 16 MESES APÓS A ENXERTIA REALIZADA NA PRIMAVERA/2015.....	44
FIGURA 4.10 - SOBREVIVÊNCIA DE ENXERTOS DE <i>A. angustifolia</i> EM FUNÇÃO DO HÁBITO DE CRESCIMENTO E IDADE DO PORTA-ENXERTO.....	45

FIGURA 4.11 - ENXERTOS DE <i>Araucaria angustifolia</i>	46
FIGURA 5.1 - PLANTAS MATRIZES UTILIZADAS NO EXPERIMENTO....	56
FIGURA 5.2 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PREPARO DAS AMOSTRAS.....	57
FIGURA 5.3 - IMAGEM COM OS ESCORES PARA OS COMPONENTES PRINCIPAIS 1 E 4, COLETADOS PELO NIR PORTÁTIL.....	61
FIGURA 5.4 - IMAGEM COM OS ESCORES PARA OS COMPONENTES PRINCIPAIS 1 E 4, COLETADOS PELO NIR DE BANCADA.....	62
FIGURA 5.5 - CROMATOGRAMAS PARCIAIS DAS CORRENTES TOTAIS DE ÍONS (CTI) DOS ÍONS PAIS 232 (IAA) E 239 (IAA-D7), ÁREA DOS FRAGMENTOS DE MASSA (RAZÃO MASSA CARGA, M/Z) UTILIZADAS NA QUANTIFICAÇÃO DO IAA, M/Z 188 REFERENTE AO COMPOSTO IAA E M/Z 239 PADRÃO INTERNO IAA-D7.....	63
FIGURA 5.6 - CONCENTRAÇÃO DE IAA LIVRE EM ACÍCULAS DE ARAUCÁRIA EM FUNÇÃO DA IDADE DA PLANTA EM RAMOS PRIMÁRIOS E TRONCO ORTOTRÓPICO.....	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 - PERCENTUAL DE EMISSÃO (EB), NÚMERO (NB) E COMPRIMENTO MÉDIO DE BROTAÇÕES (CMB) DOS ENXERTOS EM FUNÇÃO DO HÁBITO DE CRESCIMENTO E IDADE DOS PORTA-ENXERTOS DE <i>A. angustifolia</i> AOS 16 MESES APÓS A ENXERTIA REALIZADA NO OUTONO/2015.....	47
TABELA 4.2 - PERCENTUAL DE EMISSÃO (EB), NÚMERO (NB) E COMPRIMENTO MÉDIO DE BROTOS (CMB) DOS ENXERTOS EM FUNÇÃO DO HÁBITO DE CRESCIMENTO E IDADE DOS PORTA-ENXERTOS DE <i>A. angustifolia</i> AOS 16 MESES APÓS A ENXERTIA REALIZADA NA PRIMAVERA/2015.....	47
TABELA 5.1 - RESULTADOS DO MODELO PLS COM DIFERENTES REGIÕES NIR*	60
TABELA 5.2 - RESULTADOS DO MODELO PLS COM DIFERENTES REGIÕES NIR*	60

SUMÁRIO

1	PREÂMBULO.....	13
2	APRESENTAÇÃO DA TESE	16
3	INTRODUÇÃO GERAL.....	17
3.1	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.2.1	Descrição da espécie.....	18
3.2.2	Silvicultura clonal	20
3.2.3	Hábitos de crescimento	22
3.2.4	Maturação em plantas	23
3.2.5	Espectroscopia no Infravermelho Próximo – NIR	24
3.2.6	Ácido Indolil-3-Acético - IAA	25
	REFERÊNCIAS	27
4	IDADE DO PORTA-ENXERTO E HÁBITO DE CRESCIMENTO INFLUENCIAM NA ENXERTIA DE COPA EM ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA (BERTOL.) KUNTZE	32
	RESUMO	32
	ABSTRACT	33
4.1	INTRODUÇÃO.....	34
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	35
4.2.1	Caracterização da área de estudo.....	35
4.2.2	Obtenção dos enxertos.....	36
4.2.3	Período e técnica de enxertia	36
4.2.4	Avaliação de sobrevivência, percentual de emissão de brotos, número médio de brotos e comprimento médio dos brotos.....	38
4.2.5	Delineamento experimental	40
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.4	CONCLUSÕES.....	48
	REFERÊNCIAS	49
5	PREDIÇÃO DE HÁBITOS DE CRESCIMENTO EM ARAUCARIA ANGUSTIFOLIA (BERTOL.) KUNTZE POR MEIO DA ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO E DA CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO INDOLIL-3-ACÉTICO	52
	RESUMO	52

ABSTRACT	53
5.1 INTRODUÇÃO.....	54
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	55
5.2.1 Caracterização da área experimental	55
5.2.2 Coleta do material vegetal	56
5.2.3 Preparo das amostras para leitura do NIR portátil e de bancada	56
5.2.4 LEITURA E ANÁLISE DOS ESPECTROS POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR).....	57
5.2.5 ANÁLISE HORMONAL PARA ÁCIDO INDOLIL-3-ACÉTICO - IAA.....	58
5.2.6 Delineamento experimental	59
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
5.3.1 Espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)	59
5.3.2 Análise hormonal	62
5.4 CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS	66
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICE 1 - TEMPERATURA MÉDIA (C) DE CURITIBA, ESTAÇÃO: LATITUDE: 25,26 - LONGITUDE: 49,16 CURITIBA - (SIMEPAR), DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL.	75
APÊNDICE 2 - PRECIPITAÇÃO ACUMULADA MENSAL (MM), ESTAÇÃO: LATITUDE: 25,26 - LONGITUDE: 49,16 - CURITIBA (SIMEPAR), DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL.....	76

1 PREÂMBULO

A produção comercial de mudas seminais de araucária, *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, apresenta heterogeneidade nos materiais, o que dificulta a seleção das características desejáveis. Uma alternativa para redução da heterogeneidade genética, seleção e multiplicação de plantas superiores é o emprego da propagação vegetativa. Embora já existam trabalhos preliminares utilizando a técnica da enxertia de mudas de araucária desde o final da década de 60, somente agora esta tecnologia está sendo validada em pesquisas de campo para que sejam recomendados plantios em escalas maiores objetivando a sua produção comercial.

A propagação vegetativa, através da enxertia de copa sobre porta-enxerto adulto, é muito utilizada em trabalhos de melhoramento de *Pinus* sp., resultando em precocidade e redução do tempo de produção das sementes. O uso desta técnica, em plantas adultas de araucária, pode trazer novas perspectivas aos programas de melhoramento genético e conservação da espécie.

Plantas que têm crescimento dimórfico, como a araucária, necessitam de atenção na coleta de propágulos para a realização da propagação vegetativa, pois o resultado será em função da origem do hábito de crescimento. Avaliar o pegamento, a eficiência e a viabilidade de enxertos de origem de ramos primários e de tronco ortotrópico em ramos primários de porta-enxerto maduros pode trazer resultados promissores no uso da técnica de enxertia de copa para esta espécie.

Para a araucária, no quesito trabalhos de resgate vegetativo ou propagação vegetativa, a forma mais eficiente para se conseguir uma árvore normal (tronco ortotrópico) é podando o ponteiro e induzindo sua brotação. Com a coleta da brotação ortotrópica, pode-se utilizar este material para constituição de jardim clonal com o objetivo de formação de mudas enxertadas para produção de pinhão. Já na técnica de resgate de material, com interesse voltado para a produção de madeira, é feito o corte da árvore e utilizadas as brotações originárias da cepa.

Para esta espécie ainda existem muitos indivíduos de interesse para os quais ainda não foi realizado nenhum programa de resgate vegetativo, voltado às características desejáveis para a produção de pinhão e madeira. São muitas as características encontradas em indivíduos de araucária, as quais possuem grande interesse na produção comercial do pinhão. Dentre elas, se destacam o maior tamanho da semente (com pouca ou sem casca em um dos lados) e produção fora

do período habitual, já para a produção da madeira, se destacam características como entre-nós mais distantes, precocidade de crescimento, entre outros.

Um dos entraves ao se planejar o resgate vegetativo destes indivíduos é a idade avançada, visto que, a maioria destas árvores tem mais que 60 anos e no momento em que se faz a poda de ponteiro não há mais a emissão de brotações em função da perda da capacidade fisiológica de rebrota. Nestes casos, a única opção pode ser o resgate da matriz por meio de ramos plagiotrópicos da copa, os quais resultarão em árvores com este mesmo hábito de crescimento. Exceção se faz quando no tronco houver brotações ortotrópicas com morfologia de tronco, sendo necessários o desenvolvimento de métodos que possam prever este tipo de hábito de crescimento.

A validação do uso de uma ferramenta que consiga prever o hábito de crescimento pode ser uma alternativa viável e mais segura no trabalho de resgate e multiplicação de materiais de interesse comercial e conservação.

A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) é utilizada como ferramenta para predição em muitas áreas. Na área florestal é aplicada principalmente na tecnologia madeireira e pode ser uma alternativa eficaz na predição de hábito de crescimento em araucária. A técnica pode, inclusive, representar um ganho de tempo e economia quando existir um grande volume de amostras. As auxínicas, do mesmo modo, exercem influência no hábito de crescimento das plantas. Os estudos de suas concentrações e a busca de uma correlação podem auxiliar na sua predição.

A predição de hábito de crescimento em plantas com padrões de crescimento com ramos dimórficos, como a araucária, é fundamental para ter segurança no resgate de material superior ou ameaçado de extinção, formando indivíduos com desenvolvimento de tronco e não de galho. Plantas que possuem ramos dimórficos dificultam este tipo de trabalho, pois, em um dado momento, o desenvolvimento pode se dar no tronco com crescimento ortotrópico e depois de alguns anos nos ramos primários.

Quando se realiza a enxertia em plantas de araucária utilizando porta-enxertos com troncos com hábito de crescimento ortotrópico e enxertia de crescimento nos ramos primários, ocorre uma limitação morfológica deste último no desenvolvimento de altura e diâmetro. Estas limitações resultam em um

desenvolvimento vegetativo anormal, com o enxerto formando uma calosidade excessiva e um crescimento em diâmetro limitado.

Atualmente, o grande desafio científico é conseguir fazer a predição correta e precoce do hábito de crescimento das brotações de araucária, evitando dispêndio de investimento e tempo, os quais são de fundamental importância para o desenvolvimento de pomar clonal e produção de mudas clonais.

2 APRESENTAÇÃO DA TESE

O presente trabalho de doutorado foi elaborado de acordo com as normas da Universidade Federal do Paraná – UFPR, e está estruturado com uma introdução geral e dois capítulos, escritos em formato de artigo científico, e uma consideração geral. A opção por essa estrutura tem como objetivo possibilitar à banca avaliar, criticar e dar sugestões tendo como base a concepção dos artigos, para sua posterior submissão às revistas após correções.

Na introdução geral, faz-se uma síntese e revisão bibliográfica dos temas abordados nos capítulos um e dois.

O primeiro capítulo avalia a eficiência da enxertia de copa em *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, o efeito da idade do porta-enxerto e do tipo de enxerto no seu pegamento, através das variáveis sobrevivência, número de brotações e tamanho das brotações.

O segundo capítulo avalia o uso da espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) para separar os dois hábitos de crescimento e sua correlação com a concentração endógena de IAA da araucária em diferentes idades nos dois hábitos de crescimento.

Após, são finalizadas as considerações gerais sobre os temas abordados nesta tese.

3 INTRODUÇÃO GERAL

A silvicultura brasileira tem seu principal enfoque nos reflorestamentos com espécies de *Eucalyptus* e *Pinus* que representaram 72,3% e 20,19%, respectivamente, da área total dos plantios florestais. As demais espécies florestais representam somente 7,6% da área total dos plantios florestais, sendo que a *Araucaria angustifolia* representa 1,88% (IBÁ, 2017).

Os plantios florestais com araucária se limitam à região sul e parte do sudeste do Brasil, principalmente nos estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo. Maack (2012) preconizou que a araucária poderia ter grande importância nos programas de reflorestamento, em função de seu valor econômico, fato que ainda não aconteceu. A araucária e outras araucariáceas possuem gemas terminais e gemas dormentes ao longo do tronco, as quais são os únicos meristemas que apresentam capacidade de produzir tronco com crescimento ortotrópico, visto que, seus ramos primários e secundários têm crescimento plagiotrópico. (ZANETTE et al., 2017).

A *A. angustifolia* é a única espécie do gênero que ocorre naturalmente no Brasil e exclusiva da Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária). (VELOSO et al., 1991). Pode ser encontrada em áreas de tensão ecológica com a Floresta Estacional Semi-decidual e com a Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica), sempre em altitudes acima de 500 m e abaixo de 1800 m. (CARVALHO, 2003).

Observa-se que, ao longo dos anos, o reflorestamento com a *A. angustifolia* tem diminuído, passando 24.235 ha em 2005, para 11.343 ha em 2012. (ABRAF, 2006 e 2013). A hipótese desta queda no reflorestamento se baseia em duas vertentes: o interesse no cultivo de pinus e eucalipto, e a mudança da legislação ambiental, a qual possui influência direta pela insegurança jurídica em relação à permissão do manejo e cortes futuros de *A. angustifolia*.

Torna-se indispensável à sintonização da silvicultura moderna com as demandas do mercado consumidor dos produtos florestais madeireiros e não madeireiros. É notória a preferência do mercado madeireiro para as espécies que atualmente estão em processo de escassez ou ameaçadas de extinção. (INOUE e PUTTON, 2007).

A *A. angustifolia* desperta interesse econômico pelo seu potencial madeireiro, por meio dos diversos fins de uso de sua madeira, e pelos fins alimentícios, através

de seus pinhões. As suas sementes são recalcitrantes, o que dificulta a produção de mudas durante o ano todo, deste modo, a propagação clonal pode ser uma ótima alternativa para a seleção e o melhoramento de materiais superiores. O seu plantio deve ser incentivado com o objetivo de produzir pinhões para a geração de renda familiar, além de contribuir com a conservação e manutenção da diversidade genética da espécie e da fauna associada. (WENDLING, 2015; FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2011; ZANETTE *et al.*, 2017).

Para suprir o objetivo de formação de plantios comerciais de *A. angustifolia*, com alta produtividade, está sendo validada a técnica de enxertia de mudas para produção de pinhão e a técnica de estaquia para a produção de madeira, garantindo assim, a produção de mudas uniformes, com plantios mais produtivos e homogêneos, além de possibilitar a produção de mudas durante o ano todo com matrizes superiores selecionadas. (WENDLING *et al.*, 2009; OLIVEIRA, 2010; WENDLING, 2011; ZANETTE; OLIVEIRA; BIASI, 2011; WENDLING, 2015a, 2015b; WENDLING *et al.*, 2017).

A propagação vegetativa, através da técnica de estaquia e enxertia, em plantas que possuem hábito de crescimento ortotrópico e plagiotrópico, deve ser realizada com atenção, posto que seu resultado pode ser afetado pelo tipo de material coletado para tal.

3.1 REVISÃO DE LITERATURA

3.2.1 Descrição da espécie

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é uma espécie da família Araucariaceae, conhecida como araucária, Pinheiro-do-Paraná ou Pinheiro-Brasileiro. Esta família é do grupo mais primitivo de coníferas ainda vivas, originárias da Era Paleozóica. Atualmente ocorre naturalmente no Hemisfério Sul, com apenas 3 gêneros: *Araucaria* (com 19 espécies: *A. angustifolia*, *A. araucana*, *A. bernieri*, *A. biramulata*, *A. columnaris*, *A. humboldtensis*, *A. laubenfelsii*, *A. luxurians*, *A. montana*, *A. muelleri*, *A. nemerosa*, *A. rulei*, *A. schmidii*, *A. scopularum*, *A. subulata*, *A. bidwilli*, *A. conninghamii*, *A. hunsteinii*, *A. heterophylla*); *Agathis* (com uma única espécie *Agathis dammara*) e *Wollemia* (com uma única espécie *Wollemia nobilis*). (ZANETTE *et al.*, 2017). De acordo com os mesmos autores, destas espécies,

somente duas encontram-se na América do Sul, a *Araucaria araucana* e a *Araucaria angustifolia*, sendo esta última distribuída no Brasil, Argentina e Paraguai. Através de exame de DNA foi observado que estas duas espécies de *Araucaria* são extremamente relacionadas. Das demais espécies de *Araucaria*, treze são endêmicas da Nova Caledônia, duas da Austrália, uma da Nova Guiné e uma da Ilha Norfolk.

A gênese da palavra araucária é derivada de Arauco, uma região localizada no Chile que deu origem a esse gênero botânico, e a etimologia do epíteto específico de *angustifolia* precede do latim *angustus*, que tem a acepção de estreito, pontudo, e de *folium*, que significa folha. A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é uma conífera arbórea, dióica, de crescimento monopodial, atingindo até 52 m de altura e 8,5 m de diâmetro. (REITZ e KLEIN, 1966).

É uma espécie conhecida popularmente como pinheiro-do-paraná ou pinheiro brasileiro, endêmica da região sul e sudeste do Brasil, exclusiva da Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária), tendo sua distribuição natural também na Argentina e Paraguai, sempre em altitudes acima de 500 m e abaixo de 1800 m. (THOMAS, 2013; YAMAGUCHI e KATO, 2012). Seu gênero é considerado o mais primitivo entre as coníferas, com um padrão embriogenético totalmente diferente das demais coníferas, tais como *Pinus*, *Taxus* e *Sequóia*. (FRANCO et al, 2005).

A araucária desperta interesse econômico pelo potencial madeireiro, através dos diversos fins de uso da madeira e pelo potencial alimentício, por meio da semente do pinhão. As sementes são recalcitrantes, o que dificulta a produção de mudas durante o ano todo e, desta forma a propagação clonal pode ser uma ótima alternativa para a produção de mudas. O plantio deve ser motivado com objetivo de produzir pinhões para geração de renda, além de contribuir com a conservação e manutenção da diversidade genética da espécie e da fauna associada. (WENDLING, 2015a; FIGUEIREDO FILHO et al., 2011; ZANETTE et al., 2017).

Comparando-se a produção por hectare de pinhão, de uma floresta nativa e uma floresta plantada, estima-se uma produtividade média de 231,74 kg.ha⁻¹ e 474,20 kg.ha⁻¹, respectivamente. O qual permitiria ao produtor rural, com a coleta de pinhões em área reflorestada, uma importante fonte de renda anual. Uma alternativa de renda a mais para o produtor rural é reforçar os estudos voltados à produção de

pinhão, os quais auxiliarão na implementação de políticas públicas. (FIGUEIREDO FILHO et al., 2011).

Embora a produção de pinhões possa ser uma alternativa econômica, praticamente não existem plantios de araucária com este objetivo. Os plantios de mudas seminais requerem um tempo considerável, entre 12 a 15 anos, para iniciar a produção de pinhão, aliados à indefinição do sexo das plantas até a sua maturidade. A pressão antrópica aos recursos genéticos naturais ameaça a própria sobrevivência da espécie e da fauna associada, bem como diminui a regeneração das florestas com araucária. (THOMAS, 2013; WENDLING, 2015b).

As sementes (pinhões) normalmente são consumidas assadas ou cozidas, e a cada dia são mais utilizadas por Chefs de cozinha na alta gastronomia. As sementes têm uma constituição composta de envoltório, polpa e embrião, ricos em amido, fibras e proteínas, respectivamente. (CAPELLA; PENTEADO e BALBI, 2009). A semente crua possui uma fonte de carboidratos complexos, a cada cem gramas de sementes cruas possuem amido (36%), proteínas (3%), lipídios (1%), açúcares solúveis (2,4%), bem como fibras, minerais e compostos fenólicos (<0,2%). (COSTA et al., 2013).

3.2.2 Silvicultura clonal

No Brasil a silvicultura clonal é predominantemente centrada nas espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*, tendo uma importância crescente em função das características peculiares obtidas através das técnicas de propagação vegetativa em conjunto com o melhoramento genético. (WENDLING et al., 2009).

As principais características da silvicultura clonal estão embasadas em plantios mais uniformes, permitindo maior controle sobre os produtos, aproveitamento de combinações genéticas variadas como a hibridação, maximização do ganho em produção silvicultural e da qualidade tecnológica da madeira, resistência a pragas e doenças, possibilidade do uso de 2 a 4 rotações viáveis economicamente, custo acessível e atraente para as empresas. (WENDLING, 2003; XAVIER; WENDLING e SILVA, 2013).

A tecnologia de produção de mudas é considerada a parte fundamental do desenvolvimento da silvicultura, envolvendo desde o melhoramento florestal até a entrega das mudas para plantio. (PIRES, 2012). Para suprir o objetivo de formação

de plantios comerciais de araucária com alta produtividade está sendo validada a técnica de enxertia de mudas para a produção de pinhão e a técnica de estaquia para a produção de madeira, garantindo assim a produção de mudas uniformes, com plantios mais produtivos e homogêneos, além de possibilitar a produção de mudas durante o ano todo com matrizes superiores selecionadas. (OLIVEIRA, 2010; ZANETTE et al., 2011; WENDLING, 2009, 2011 e 2015a).

A enxertia tem grande importância na formação de pomares clonais para a produção de sementes, material vegetativo e na enxertia seriada. A retro mencionada técnica permite a reversão da juvenilidade de materiais genéticos de interesse através de técnicas de propagação vegetativa *in vitro* e *ex vitro*, muito embora, em algumas espécies, ocorra a rejeição do enxerto (imediatamente ou após anos da enxertia). (FERRARI et al., 2004). Em espécies florestais, a enxertia, para a produção de mudas, tem potencial para definir características de interesse como a distinção entre plantas masculinas e femininas, a época de frutificação (precoce, intermediária e tardia), o resgate de material e o início da frutificação com idade e porte das plantas reduzido. (WENDLING, 2015b; STUEPP, 2017).

Wendling (2015b) obteve resultados promissores de sobrevivência com enxertia por borbulhia em janela aberta em araucária, usando brotações ortotrópicas da copa de plantas adultas. O mesmo autor recomendou esta técnica tanto para produção de mudas quanto para produção de pinhões, formação de pomares para produção precoce de sementes e/ou plantios clonais para fins madeireiros.

Para trabalhar em programas de seleção e melhoramento da araucária é necessário utilizar a técnica de enxertia de copa (*Topgrafting*). Esta técnica consiste na realização da enxertia do material selecionado em porta-enxerto maduro, objetivando a formação de pomar de sementes. O intuito é acelerar a reprodução da espécie, permitindo a polinização controlada e promovendo a floração precoce, de forma que, para algumas espécies, ocorre em apenas um ano após a enxertia. (LOTT et al., 2003).

A enxertia de copa é uma técnica muito utilizada em programas de melhoramento genético com objetivo de produção de sementes precoces de pinus. Esta técnica é considerada uma ferramenta efetiva na promoção de estróbilo feminino e masculino em *Pinus elliottii* Engelm. Var. *Elliottii*. (PEREZ et al., 2007). Na araucária, como seu ciclo reprodutivo leva aproximadamente de 28 a 35 meses a partir do início da visibilidade dos ginostrobilos até a produção de sementes. O

ginostróbilo pode ser visualizado somente a partir do seu segundo ano de sua formação. (ZANETTE et al., 2017).

3.2.3 Hábitos de crescimento

A posição da copa, em que se coleta o material para propagação vegetativa de espécies florestais, influencia no êxito desta, desde o seu pegamento, crescimento e reprodução. (SUITER FILHO, 1970). Fatores ambientais, principalmente gravitacional e luminoso, determinam a orientação dos órgãos. O tropismo é uma resposta a estímulos externos direcionais, exemplo de movimento de crescimento. O movimento dirigido para a fonte de estímulo é chamado ortotrópico positivo, se ao contrário é ortotrópico negativo. Entretanto, quando o órgão é orientado em ângulo ao estímulo há uma resposta plagiotrópica. (VALOIS, 2011).

Os movimentos por crescimento têm influência dos hormônios, bem como de outros fitorreguladores. Os mais estudados são os estimulados pela luz (fototropismo) e gravidade (geotropismo), embora existam outros tipos de tropismo. Seus mecanismos ainda não são totalmente conhecidos. No tropismo, o movimento por crescimento, em regra, é permanente, podendo ser eliminado nos órgãos em crescimento. (VALOIS, 2011).

Durante a passagem do estado juvenil para o adulto, as plantas sofrem inúmeras modificações, podendo resultar em mudanças no seu comportamento, como o hábito e vigor de crescimento. No crescimento plagiotrópico as plantas formadas por propagação vegetativa assumem um crescimento desviado da vertical (ortotropia) e continuam seu crescimento de forma similar a um galho lateral. (ZOBEL e TALBERT, 1984).

Na estaquia da pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) e na enxertia de seringueira (*Hevea* spp), a estaquia de origem ortotrópica mantém as características desejáveis da planta matriz, sendo vigorosas e mais produtivas. Já as de origem plagiotrópicas são fracas, de crescimento lento, podendo ter o seu crescimento da copa em ângulo reto. (VALOIS, 2015).

Para as araucariáceas, as gemas terminais e as gemas dormentes ao longo do tronco são os únicos meristemas que têm capacidade de produzir ramos com crescimento ortotrópico. (NIKLES, 1964). O dimorfismo da *Araucaria angustifolia* é

caracterizado e dividido em três elementos morfológicamente distintos: tronco ortotrópico (vertical, ortotrópico); ramos primários (horizontal, plagiotrópico); e ramos secundários ("grimpa" ou "sapé"). Seu tronco é ortotrópico com crescimento longitudinal finito (entre 60 e 70 anos) e radial ilimitado, já os ramos primários com alongamento ilimitado e crescimento radial definido. (ZANETTE et al., 2017).

Wendling et al. (2009) avaliaram técnicas de indução de brotações epicórmicas visando à obtenção de material para enxertia. Os autores observaram um maior percentual na produção de brotações ortotrópicas com o uso da decepta e da poda de ramos plagiotrópicos a 20 e 50 cm. Embora a técnica de corte do ponteiro tenha sido eficiente, houve uma baixa produção de brotações.

Estudos mostram não existir a reversão do hábito de crescimento para araucária. Plantas provenientes de estacas de ramos plagiotrópicos, após 5 anos de cultivo, mantiveram seu crescimento plagiotrópico. As que receberam auxílio de um tutor, no quarto ano de cultivo, alcançaram mais de 2 m de altura, ocorrendo a formação do oitavo verticilo com quatro ramos e obtendo uma nova disposição espacial em simetria radial. (OLIVEIRA, 2010). Segundo o mesmo autor, embora tenha crescimento vertical, possui característica de galho e irá continuar sendo um galho, o que proporcionará uma limitação de crescimento em diâmetro.

Não foram encontradas publicações comprovando a efetividade da reversão do hábito de crescimento em araucária, embora, no trabalho de campo de Wendling (2017, Informação verbal)¹, foi observado esta hipótese, possibilitando aumentar o número de material para a propagação vegetativa com crescimento de tronco ortotrópico.

3.2.4 Maturação em plantas

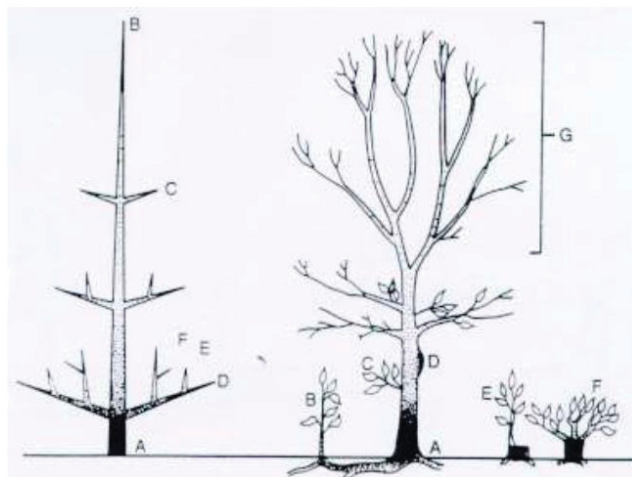
A relação entre a fase juvenil e adulta de muitas plantas pode apresentar características anatômicas, fisiológicas, bioquímicas e morfológicas distintas, que podem afetar a propagação vegetativa. (HARTMANN et al., 2011).

As plantas lenhosas possuem um gradiente de juvenildade em direção à sua base, Teoria do Cone, com variação entre as espécies, resultando em um aumento de maturação nas áreas mais próximas ao meristema apical (FIGURA 3.1). A

¹ WENDLING, I. **Propagação vegetativa da araucária**. Colombo, 2017. Comunicação pessoal.

justificativa para se ter uma maior juvenilidade na região basal das plantas é que os meristemas mais próximos à base formaram-se em épocas mais próximas à germinação que os das regiões terminais. (HARTMANN et al., 2011).

FIGURA 3.1 - GRADIENTE DE JUVENILIDADE EM PLANTA ORIUNDA POR SEMENTE



FONTE: HACKETT, 1985.

LEGENDA: Esquerda: conífera representando o gradiente de juvenilidade: $A > F > E > D > C > B$, decorrente das diferenças da idade ontogenética. Direita: folhosa representando as estruturas juvenis (A, B, C, D, E e F) e as partes maduras correspondentes a parte apical (G).

A propagação vegetativa de planta lenhosa terá, em regra, resultados diferentes em função da origem das diferentes partes da planta matriz (fase: juvenil, juvenil/adulta e adulta). (XAVIER; WENDLING e SILVA, 2013). A maturação fisiológica em plantas lenhosas pode afetar a capacidade de propagação vegetativa. (WENDLING et al., 2014).

As plantas passam por várias alterações no processo de desenvolvimento da fase juvenil para a adulta, resultando em mudanças de comportamento, desde o hábito até o vigor de crescimento. (ZOBEL e TALBERT, 1984).

3.2.5 Espectroscopia no Infravermelho Próximo – NIR

A técnica da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) é utilizada para avaliação rápida de materiais biológicos, sendo fundamentada na espectroscopia vibracional, que mede a interação da radiação eletromagnética com a matéria. (PASQUINI, 2003).

O NIR opera na faixa de 750 a 2.500 nm do espectro eletromagnético e emite radiação sobre o material com energia suficiente para induzir apenas excitação vibracional. (WORKMAN e WEYWER, 2007). Uma correlação deste com os

resultados de análises laboratoriais convencionais, gerou um modelo estatístico para explicar as informações contidas nos espectros. (WILLIAMS e NORRIS, 2001).

Na área florestal e agrônômica, a técnica de NIR é validada para prever propriedades químicas, anatômicas, mecânica e física da madeira. (SCHIMLECK e EVANS, 2004; HEIN et al. 2009, 2010), macro e micronutrientes nos vegetais. (TORMEN, 2008; BRANDELERO, 2010), entre outras.

A técnica é aprimorada quando combinada com a calibração multivariada, uma ferramenta que permite extrair informações presentes nos espectros. Um dos métodos auxiliares para a proposta de modelos de calibração multivariada é a regressão parcial de mínimos quadrados (PLS), um método de calibração mais utilizado para interpretar os resultados obtidos. (LEE et al., 2006).

O uso da ferramenta NIR pode ser uma alternativa para a predição de hábito de crescimento de plantas com ramos dimórficos, como a araucária, facilitando o trabalho de resgate vegetativo, melhoramento genético e do reflorestamento.

3.2.6 Ácido Indolil-3-Acético - IAA

As auxinas exercem funções importantes na organização do meristema, dominância apical, formação de raízes laterais e no desenvolvimento de embriões. (KORASICK, ENDERS e STRADER, 2013; FIGUEIREDO et al., 2015). São sintetizadas nos meristemas apicais, onde seu principal transporte polar é através do tronco. (POP, PAMFIL e BELLINI, 2011; LUDWIG-MÜLLER, 2011). As taxas de biossíntese, transporte, conjugação e catabolismo influenciam nas concentrações das auxinas endógenas nas plantas. (KRAMER e ACKELSBERG, 2015).

Entre as auxinas endógenas de maior influência no hábito de crescimento das plantas pode-se destacar o ácido indolil-3-acético (IAA) cuja principal ação é no alongamento e diferenciação celular, além de ser essencial na comunicação celular. (TANAKA et al., 2014, FARIAS-SOARES et al., 2014). O IAA é de grande importância nas funções fisiológicas dos vegetais, sendo o aminoácido triptofano o seu principal precursor. (GASPAR et al., 1996). As auxinas conjugadas são o principal fator regulador das auxinas livres nos vegetais, além da degradação por oxidação, possuem a função de manter os hormônios inativos, agindo como fonte reversível de IAA e também como intercessor no processo de degradação hormonal. (TAIZ e ZEIGER, 2013).

A mensuração das concentrações endógenas dos hormônios vegetais é realizada comumente por meio de bioensaios, espectrometria de massas ou método de ELISA. Salisbury et al. (2012) recomendaram o uso de equipamentos mais modernos e precisos para a separação e a quantificação dos hormônios vegetais, como a cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC) e a cromatografia gasosa (GC), além de conjugados com a espectrometria de massa (MS).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2006**: ano base 2005. Brasília: ABRAF. 2006. 80p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília: ABRAF. 2013. 148 p.

BRANDELERO, C. **Espectrorradiometria do visível e infravermelho próximo em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 2010, 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

CAPELLA, A. C. V.; PENTEADO, P. T. P. S.; BALBI, M. E. Semente de *Araucaria angustifolia*: aspectos morfológicos e composição química da farinha. **B. CEPPA**, v. 27, n. 1, p. 135-142. 2009.

CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: **Informação Tecnológica**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. p. 801-812.

COSTA, F. J. O. G. da; LEIVAS, C. L.; WASZCZYNSKYJ, N.; GODOI, R. C. B. DE; HELM, C. V.; COLMANC, T. A. D.; SCHNITZLER, E. Characterisation of native starches of seeds of *Araucaria angustifolia* from four germplasm collections. **Thermochimica Acta**. v. 565, p. 172-177, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2013.04.030> >. Acesso em: 18/02/2018.

FARIAS-SOARES, F. L.; STEINER, N.; SCHMIDT, E. C.; PEREIRA, M. L. T.; ROGGER-RENNER, G. D.; BOUZON, Z. L.; FLOH, E. I. S.; GUERRA, M. P. The transitions of proembryogenic masses to somatic embryos in *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze is related to the endogenous contents of IAA, ABA and polyamines. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, n. 7, p. 1853-65. 2014.

FERRARI, M. P.; GROSSI, F.; WENDLING, I. **Propagação vegetativa de espécies florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 22p.

FIGUEIREDO, D.D.; BATISTA, R.A.; ROSZAK, P.J.; KÖHLER, C. Auxin production couples endosperm development to fertilization. **Nat. Plants**, v. 1, p.15184. 2015. DOI: 10.1038/nplants. 2015.184

FIGUEIREDO FILHO, A.; ORELLANA, E., NASCIMENTO, F., DIAS, A. N., INOUE, M. T.. Produção de sementes de *Araucaria angustifolia* em plantio e em floresta natural no centro-sul do estado do Paraná. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 41, n. 1, p. 153-160, jan./mar. 2011.

FRANCO, A. C.; DUARTE, H. M.; GEBLER, A.; MATTOS, E. A. DE; NAHM, M.; RENNENBERG, H.; RIBEIRO, K. T.; SCARANO, F. R.; LÜTTGE, U. In situ measurements of carbon and nitrogen distribution and composition, photochemical efficiency and stable isotope ratios in *Araucaria angustifolia*. **Trees – Structure and Function**, v. 19, n. 4, p.422-430, 2005.

GASPAR, T.; KEVERS, C.; PENEL, C.; GREPPIN, H.; REID, D. M.; THORPE, T.A. Plant hormones and plant growth regulator in plant tissue culture. **In Vitro Cellular Development Biology–Plant**, v.32, p.272-289, 1996.

HACKETT, W. P. Juvenility, maturation and rejuvenation in woody plants. **Horticultural Reviews**, New York, v. 7, p. 109-155, 1985.

HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIES Jr, F.T.; GENEVE, R.L. **Plant propagation: principles and practices**. São Paulo: Prentice Hall, 2011.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2017**. Brasília: IBÁ, 2017. 79 p. Relatório da Indústria Brasileira de Árvores. Disponível em: <<http://www.iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acesso em: 22/09/2017.

INOUE, M. T.; PUTTON, V. Macropropagação de 12 espécies arbóreas da floresta ombrófila mista. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 37, n. 1, p. 55-61, jan./abr. 2007

KRAMER, E.M.; ACKELSBERG, E.M. Auxin metabolism rates and implications for plant development. **Front. Plant Sci.** v. 6, p. 150. 2015.

KORASICK, D.A.; ENDERS, T.A.; STRADER, L.C. Auxin biosynthesis and storage forms. **J. Exp. Bot.** v. 64, p. 2541-2555. 2013.

LEE, Y., CHUNG, H., ARNOLD, M.A. Improving the robustness of a partial least squares (PLS) model based on pure component selectivity analysis and range optimization: Case study for the analysis of an etching solution containing hydrogen peroxide. **Analytica Chimica Acta**, v. 572, n.1, p. 93-101. 2006.

LOTT, L. H.; LOTT, L. M.; STINE, M.; KUBISIAK, T.L.; NELSON, C.D. 2003. Topgrafting Longleaf x Slash pine F1 Hybrids on Mature Longleaf and Slash pine Interstocks. Proc. **27th Southern Forest Tree Improvement Conf.**, June 24-27, Stillwater, OK. P. p. 96-101.

LUDWIG-MÜLLER, J. Auxin conjugates: Their role for plant development and in the evolution of land plants. **J. Exp. Bot.** v. 62, p. 1757-1773. 2011.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 4. ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012. 526 p.

NIKLES, D.G. *A. cunninghamii* "bark-patch" grafting in the field. **Australian Forest Research**, v.1, n.1, p.45-47, 1964.

OLIVEIRA, L. S. **Enxertia, microenxertia e descrição do tropismo em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2010. 90 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 198-219, 2003.

PEREZ, A. M. M.; WHITE, T. L. W.; HUBER, D. A. H.; MARTIN, T. A. Graft survival and promotion of female and male strobili by topgrafting in a third-cycle slash pine (*Pinus elliotii* var. *elliotii*) breeding program. **Canadian Journal of Forest Research**. v. 37, p. 1244-1252, 2007. DOI: 10.1139/X07-004

PIRES, P. P. **Sazonalidade e soluções nutritivas na miniestaquia de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE. em propágulos de origem seminal.** 2012. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

POP, T.I.; PAMFIL, D.; BELLINI, C. Auxin control in the formation of adventitious roots. **Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj**. v. 39, p. 307-316. 2011.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Araucariaceae.** Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 29 p.

SALISBURY, F. B.; ROSS, CLEON, W. **Fisiologia de plantas.** 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 776 p.

SCHIMLECK, L. R.; EVANS, R. Estimation of *Pinus radiata* D. don tracheid morphological characteristics by near infrared spectroscopy. **Holzforschung**, Berlin, v. 58, p. 66-73, 2004.

STUEPP, C. A. ***Piptocarpha angustifolia* Dusén ex Malme: avaliação da qualidade de mudas e análise silvicultural.** 2017. 172 f. Tese. (Doutorado em Produção Vegetal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SUITER FILHO, W.. Influência da posição do ramo da copa na enxertia de *Pinus elliotii* ENGEL. e *Pinus taeda* L.. **IPEF** n.1, p.121-124, 1970.

TAIZ, L.; ZEIGER E. Auxinas. In: **Fisiologia vegetal.** 5. ed. Editora Artmed: Porto Alegre, 2013, 918 p.

TANAKA, K.; HAYASHI, K.; NATSUME, M.; KAMIYA, Y.; SAKAKIBARA, H.; KAWAIDE, H.; KASHARA, H. UGT74D1 catalyzes the glucosylation of 2-oxindole-3-acetic acid in the auxin metabolic pathway in Arabidopsis. **Plant & cell physiology**, v. 55, n.1, p. 218-28, 2014.

THOMAS, P. ***Araucaria angustifolia*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013:** e.T32975A2829141. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32975A2829141.en>>. Acesso em: 18/02/2018.

TORMEN, G. P. **Caracterização do teor de nitrogênio foliar e produtividade do feijoeiro com técnicas de visão artificial**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2008.

VALOIS, A. C. C. Os efeitos ortotrópicos e plagiotrópicos em plantas. In: PROCITROPICOS - Programa Cooperativo de Investigación e Innovación Agrícola para los Trópicos Suramericanos. Categoría: **Procitropicos Informa**. Publicado por Monica em 07/1/2015. Disponível em: <<http://www.procitropicos.org.br/portal/conteudo/item.php?itemid=3120>>. Acesso em: 10/02/2017.

VALOIS, A. C. C.. *Tropismo y nastismos en plantas*. In: PROCITROPICOS - Programa Cooperativo de Investigación e Innovación Agrícola para los Trópicos Suramericanos. Categoría: **Procitropicos Informa**. Publicado por Monica em 21/3/2011. Disponível em: <<http://www.procitropicos.org.br/portal/conteudo/makepdf.php?itemid=1584>>. Acesso em: 10/02/2017.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. 123p.

WENDLING, I. **Propagação vegetativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire): estado da Arte e Tendências Futuras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 45p.

WENDLING, I., TRUEMAN, S.J., XAVIER, A. Maturation and related aspects in clonal forestry - Part I: concepts, regulation and consequences of phase change. **New Forest**. v. 45, p.449-471. 2014.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; HOFFMANN, H. A.; BETTIO, G.; HANSEL, F. Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. Nota Técnica. **Agronomía Costarricense**, v. 2, n. 33, p. 309-319, 2009.

WENDLING, I. **Enxertia e florescimento precoce em *Araucaria angustifolia***. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 7p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 272).

WENDLING, I. (a) **Estaquia e miniestaquia de *Araucaria angustifolia* para produção de madeira**. Embrapa Florestas, 2015a. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 272, 9 p.). Colombo, PR.

WENDLING, I. (b) **Tecnologia de enxertia de *Araucaria angustifolia* para produção precoce de pinhões, com plantas de porte reduzido**. Embrapa Florestas, 2015b. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 351, 7 p.). Colombo, PR. Maio, 2015.

WENDLING, I.; ZANETTE, F.; RICKLI-HORSTI, H. C.; CONSTANTINO, V.; Produção de mudas de araucária por enxertia. In: WENDLING, I.; ZANETTE, F. **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília – DF, Embrapa, 2017. 159 p.

WILLIAMS, P.; NORRIS, K. **Near-infrared technology**. 2nd ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, 2001. 296 p.

WORKMAN, J.; WEYWER, L. **Practical guide to interpretive near-infrared spectroscopy**. Boca Raton: CRC Press, 2007. 332 p.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. da. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. 2ª. Ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 279 p.

YAMAGUCHI, L.F.; KATO, M.J. Diurnal and seasonal changes in biflavonoids biosynthesis in *Araucaria angustifolia* needles. **Global Journal of Biochemistry**, n. 3, p. 1-7, 2012.

ZANETTE, F.; OLIVEIRA, L. S.; BIASI, L. A. Grafting of *Araucaria angustifolia* through the four seasons of the year. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1364-1370, 2011.

ZANETTE, F.; DANNER, M. A.; CONSTANTINO, V.; WENDLING, I. Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia*. In: WENDLING, I.; ZANETTE, F. **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília – DF, Embrapa, 2017. 159 p.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: North Carolina State University, 1984. 505 p.

4 IDADE DO PORTA-ENXERTO E HÁBITO DE CRESCIMENTO INFLUENCIAM NA ENXERTIA DE COPA EM *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) KUNTZE²

RESUMO

A propagação vegetativa, através da enxertia de copa sobre porta-enxerto adulto, é muito utilizada em trabalhos de melhoramento de *Pinus* sp., resultando em precocidade e redução do tempo de produção das sementes. O uso desta técnica, em plantas adultas de araucária, pode trazer novas perspectivas aos programas de melhoramento genético e conservação da espécie. Plantas que têm crescimento dimórfico, como a araucária, necessitam de atenção na coleta de propágulos para a realização da propagação vegetativa, pois o resultado será em função da origem do hábito de crescimento. Avaliar o pegamento, a eficiência e a viabilidade de enxertos de origem de ramos primários e de tronco ortotrópico em ramos primários de porta-enxerto maduros pode trazer resultados promissores no uso da técnica de enxertia de copa para esta espécie. O presente trabalho avaliou a viabilidade técnica, a influência da idade do porta-enxerto e do hábito de crescimento na enxertia de copa em *Araucaria angustifolia*. Foram utilizados porta-enxertos de duas idades (8 e 35 anos), com enxertos originários de dois hábitos de crescimento (ramos primários e troncos ortotrópicos). A enxertia foi realizada por borbúlia de placa, no terço médio e superior da copa das árvores de 8 anos e no terço médio e inferior das árvores de 35 anos, sempre próximo ao ápice em ramos primários. Os experimentos foram instalados em duas épocas, no outono e na primavera de 2015. Os tratamentos consistiram de: T1 – Porta-enxertos com 8 anos de idade e enxertos ortotrópicos; T2 – Porta-enxertos com 8 anos de idade e enxertos plagiotrópicos; T3 – Porta-enxertos com 35 anos de idade e enxertos plagiotrópicos; T4 – Porta-enxertos com 35 anos de idade e enxertos ortotrópicos. Foi avaliada a sobrevivência dos enxertos ao longo do experimento e aos 16 meses, sua sobrevivência, emissão, número e comprimento médio de brotações. De acordo com o estudo, a enxertia de copa se mostrou viável para a espécie. O uso de porta-enxertos mais jovens (8 anos) foi favorável à sobrevivência dos enxertos, especialmente quando utilizados propágulos plagiotrópicos e enxertia realizada no outono.

Palavras-chave: Enxertia de topo. Pinheiro-do-paraná. Ramos primários. Troncos ortotrópicos. Ortotropismo. Plagiotropismo.

² Artigo publicado na Revista CERNE, v. 23 n. 4, p. 465-471, 2017. DOI: 10.1590/01047760201723042447

ABSTRACT

Vegetative propagation through top grafting of adult grafts is widely used to improve *Pinus* sp., resulting in precocity and reduction of seed production time. Using this technique on adult *Araucaria* plants can bring new perspectives to programs of genetic improvement and conservation of the species. Plants that have dimorphic growth, such as the *Araucaria*, require special attention during collection of propagating material for vegetative propagation, because results will be affected by the origin of the growth habit. Assessing the adhesion, efficiency and viability of primary and orthotropic stem grafts on primary branches of mature rootstocks can bring promising results for top grafting techniques of *Araucaria*. The objective of this study was to evaluate the technical viability and influence of the rootstock age and grafts growth habit on *Araucaria angustifolia* top grafting. Two rootstocks (8 and 35-year-old) were grafted with grafts originating from two growth habits (orthotropic and plagiotropic). We used the patch grafting technique in the middle and upper third of the crown of 8-year-old trees, and in the middle and lower third of 35-year-old trees, always near the apex in primary branches. The experiments were performed during the fall and spring/2015. The treatments consisted of: 8-year-old rootstocks and orthotropic grafts; 8-year-old rootstocks and plagiotropic grafts; 35-year-old rootstocks and plagiotropic grafts; 35-year-old rootstocks and orthotropic grafts. We evaluated graft survival throughout the experiment and at 16 months, we evaluated their survival, emission, and number and average length of sprouts. Top grafting is technically feasible for *A. angustifolia*, with better results using younger rootstocks (8-year-old), especially with plagiotropic propagules and grafting in fall.

Key-words: Topgrafting. Paraná pine. Orthotropic. Plagiotropic.

4.1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a silvicultura brasileira tem direcionado seu enfoque no melhoramento de espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus* que, representam 72,3% e 20,2%, respectivamente, da área total dos plantios florestais no Brasil. As demais espécies representam 7,6% da área total dos plantios florestais, sendo que a araucária representa 1,88%. (IBÁ, 2017).

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, conhecida popularmente como araucária, pinheiro-brasileiro ou pinheiro-do-paraná, é a única espécie do gênero com ocorrência natural no Brasil, predominantemente na região sul, encontrada também na Argentina e no Paraguai. (GONÇALVES et al., 2014). Apresenta madeira de excelente qualidade para diversos fins. (ZANETTE et al., 2017), sendo este um dos motivos que levaram à sua intensa exploração, principalmente no final do século XIX. (DANNER et al., 2012; NAZARENO e REIS, 2014).

Como a maioria das coníferas, a propagação da araucária é realizada por meio de sementes. (KUHN; MARIATH, 2014). Pesquisas que buscam padronizar técnicas de propagação vegetativa vêm sendo realizadas, justificadas pela baixa longevidade das sementes, elevada variabilidade genética e indefinição do sexo até o momento da sua maturidade reprodutiva. (DIAS et al. 2012).

Dentre as técnicas de propagação vegetativa, a enxertia apresenta potencial para a produção de mudas, mantendo as características de interesse, como sexo e qualidade genética dos progenitores, sendo aperfeiçoada ao longo dos anos para a araucária. (WENDLING, 2011 e 2016; ZANETTE et al., 2011 e 2017).

A enxertia realizada por meio da técnica de borbulhia de placa é considerada viável para a formação de pomares com a finalidade de produção precoce de pinhão, com uma sobrevivência superior a 80% para araucária quando empregadas brotações ortotrópicas da copa de plantas adultas. (WENDLING, 2015). Já a enxertia de copa (*Topgrafting*) sobre porta-enxertos adultos, mostrou-se eficaz na redução do ciclo de reprodução em programas de melhoramento de *Pinus*, com precocidade na formação de estróbilos e sementes, reduzindo os intervalos entre as gerações. (ALMQVIST, 2013a e 2013b, PEREZ et al., 2007). Entretanto, existe a possibilidade para sua aplicação em araucária, o que poderá trazer novas perspectivas aos programas de melhoramento da espécie.

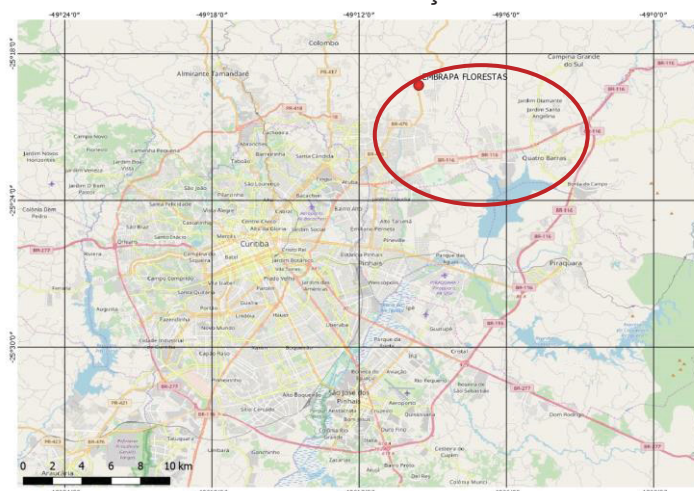
Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica da enxertia, a influência da idade do porta-enxerto e do hábito de crescimento na enxertia de copa de araucária em duas épocas do ano.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização da área de estudo

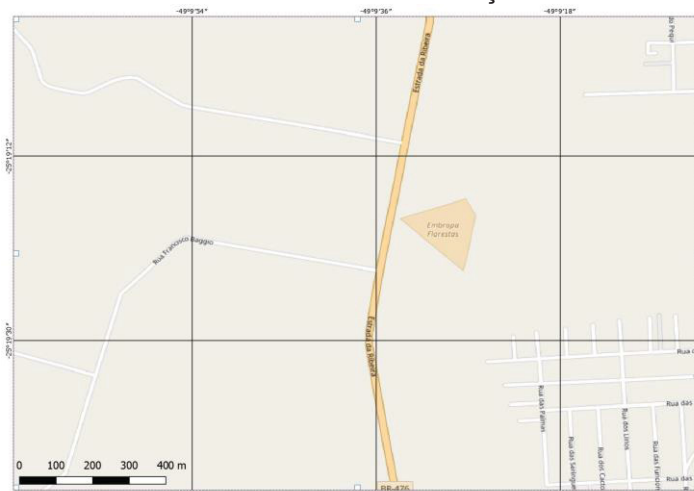
Os experimentos foram conduzidos no período entre abril de 2015 e junho de 2017, em árvores estabelecidas na Embrapa Florestas, em Colombo-PR (25°20' S e 49°14' W, 950 m de altitude em relação ao nível do mar), Figura 4.1 e 4.2.

FIGURA 4.1 - MAPA GERAL DE LOCALIZAÇÃO DA EMBRAPA FLORESTA



FONTE: Openstreetmap (2018).

FIGURA 4.2 - MAPA DETALHADO DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: Googlemaps (2018).

Segundo a classificação de Köppen (1936), o clima da região é temperado, do tipo Cfb, com temperatura do mês mais frio entre -3°C e 18°C , sempre úmido, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C . A temperatura e precipitação média mensal durante o período do trabalho estão inseridas respectivamente nos Apêndices 1 e 2.

4.2.2 Obtenção dos enxertos

A araucária é dimórfica e apresenta particularidade no seu comportamento morfogênico, neste trabalho o hábito de crescimento seguiu a classificação morfogênica descrita por Zanette et al. (2017), que referenciaram seu hábito de crescimento dividindo seu caule em partes distintas, conhecidas como: a) tronco ortotrópico (vertical); b) ramos primários (horizontais); e c) ramos secundários (grimpas). Para a obtenção dos enxertos foram utilizados dois tipos de propágulos, de acordo com sua orientação de crescimento original, tronco ortotrópico e ramos primários. Os enxertos foram provenientes de pomar clonal com 2 anos de idade, formados a partir de brotações de poda de ponteiro de árvores de 33 anos de idade. (WENDLING et al., 2009).

Os enxertos foram coletados no jardim clonal no momento da realização da enxertia, acondicionados em recipiente com água e mantidos à sombra. Os materiais utilizados para a enxertia em todos os experimentos foram tesoura de poda para efetuar a remoção das acículas na área enxertada, canivete para efetuar a incisão no enxerto e porta-enxerto e fitilho plástico para fixar o enxerto até a soldadura do mesmo.

4.2.3 Período e técnica de enxertia

Este trabalho foi montado com duas épocas distintas de enxertia e, para um melhor entendimento dos resultados, as suas avaliações foram realizadas independentemente: para a primeira época foi considerada a enxertia realizada no outono de 2015 e para a segunda foi considerada a enxertia realizada na primavera de 2015, objetivando avaliar descritivamente se haveria influência no pegamento dos enxertos nessas duas épocas.

A técnica de enxertia de borbulhia de placa foi a utilizada neste experimento, embasada em resultados obtidos por Wendling (2011), considerados com boa taxa de pegamento. A técnica de enxertia utilizada foi a de borbulhia de placa, nos ramos secundários dos porta-enxertos, realizada no terço médio e superior da copa das árvores de 8 anos de idade e no terço médio e inferior nas árvores de 35 anos de idade, correspondendo a alturas similares (FIGURA 4.3 A e B).

FIGURA 4.3 – PORTA-ENXERTOS



FONTE: A autora (2015).

LEGENDA: (A) árvores matrizes com oito anos de idade; (B) árvores matrizes com 35 anos de idade.

Antes da enxertia foi realizada a limpeza das acículas, com auxílio de uma tesoura de poda, para facilitar o trabalho e colocar o fitilho de enxertia com eficiência (FIGURA 4.4).

FIGURA 4.4 - LIMPEZA DAS ACÍCULAS PARA A REALIZAÇÃO DA ENXERTIA



FONTE: A autora (2015).

Na sequência, removeu-se uma placa nas dimensões aproximadas de 4 cm x 1,3 cm e acondicionou-se o enxerto (placa), findando com a vedação do enxerto

com fitilho plástico (fita para enxertia) para a fixação do enxerto no porta-enxerto e identificação de cada enxerto (FIGURA 4.5 A, B, C e D).

FIGURA 4.5 – ENXERTIA DE BORBULHIA DE PLACA



FONTE: A autora (2015).

LEGENDA: (A) Abertura da “janela” para recebimento do enxerto em placa; (B) Colocação da borbulhia de placa e amarrão com fitilho de enxertia; (C) Enxerto pronto; (D) Placas de identificação de cada enxerto.

A remoção da fita plástica dos enxertos foi realizada aos 45 dias pós-enxertia e, aos 90 dias, realizou-se a poda dos brotos terminais dos porta-enxertos. Posteriormente, realizou-se a poda em todas as novas brotações que surgiram, com o objetivo de evitar a competição com os enxertos vivos.

4.2.4 Avaliação de sobrevivência, percentual de emissão de brotos, número médio de brotos e comprimento médio dos brotos

As avaliações do pegamento dos enxertos foram realizadas até os dezesseis meses pós-enxertia, sendo avaliada a sua sobrevivência e a sua mortalidade (FIGURA 4.6).

FIGURA 4.6 - VISUALIZAÇÃO DO PEGAMENTO E DA MORTALIDADE DOS ENXERTOS



FONTE: A autora (2015).

LEGENDA: As figuras A, B, C, D e E são referentes ao pegamento, e as figuras F, G e H representam a mortalidade dos enxertos.

Nos enxertos que sobreviveram foi avaliado o percentual de emissão de brotos, número médio de brotos e comprimento médio dos mesmos, em centímetros, de cada brotação (FIGURA 4.7).

FIGURA 4.7 - AVALIAÇÃO DO NÚMERO DE BROTOS E O COMPRIMENTO MÉDIO DOS BROTOS



Fonte: A autora (2015 e 2016).

Uma das hipóteses levantadas neste trabalho é inferir se a enxertia de copa em araucária é possível, com bons índices de pegamento e vigor dos enxertos. E se o tipo de enxerto (tronco ortotrópico e ramos primários), a época do ano e a idade dos porta-enxertos influenciam no pegamento dos enxertos.

4.2.5 Delineamento experimental

4.2.5.1 Sobrevivência

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com arranjo fatorial 2 x 2, composto de duas idades dos porta-enxertos (8 e 35 anos), dois hábitos de crescimento dos enxertos (tronco ortotrópico e ramo primário), contendo 4 repetições com 8 enxertos por repetição, conforme descrito abaixo:

T1 – Porta-enxerto com 8 anos de idade, enxerto proveniente do jardim clonal, enxerto tronco ortotrópico, mês de enxertia outono e primavera de 2015;

T2 – Porta-enxerto com 8 anos de idade, enxerto proveniente do jardim clonal, enxerto ramo primário, mês de enxertia outono e primavera de 2015;

T3 – Porta-enxerto com 35 anos de idade, enxerto proveniente do jardim clonal, enxerto ramo primário, mês de enxertia outono e primavera de 2015;

T4 – Porta-enxerto com 35 anos de idade, enxerto proveniente do jardim clonal, enxerto tronco ortotrópico, mês de enxertia outono e primavera de 2015.

Os experimentos foram instalados em duas épocas distintas, a primeira representando o outono de 2015 e, a segunda, a primavera de 2015. As duas épocas de enxertia foram avaliadas separadamente na análise estatística e realizadas as comparações descritivas entre elas. As avaliações realizadas foram através de análise do pegamento dos enxertos (sobrevivência) até dezesseis meses após a enxertia.

Os dados foram avaliados quanto à homogeneidade por meio do teste de Bartlett e sequencialmente através do teste estatístico ANOVA. Ocorrendo significância estatística ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com o auxílio do *software* estatístico ASSISTAT (SILVA e AZEVEDO, 2006).

4.2.5.2 Percentual de emissão de brotos, número médio de brotos e comprimento médio dos brotos

Os experimentos foram instalados em duas épocas distintas, a primeira representando o outono de 2015 e, a segunda, a primavera de 2015. As duas épocas de enxertia foram avaliadas separadamente na análise estatística e realizadas as comparações descritivas entre elas. Para avaliar o percentual de emissão de brotos, número médio de brotos e comprimento médio deles, visto que algumas repetições não apresentaram brotações, empregou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado – DIC, com diferentes números de repetições, permitindo esclarecer os dados avaliados.

As avaliações foram através de análise do percentual de emissão de brotações por enxerto, número médio de brotos e comprimento médio das brotações até dezesseis meses após a enxertia.

Os dados foram avaliados quanto à homogeneidade por meio do teste de Bartlett e sequencialmente através do teste estatístico ANOVA. As duas épocas de enxertia foram avaliadas separadamente na análise estatística e realizadas as comparações descritivas entre elas. Ocorrendo significância estatística ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com o auxílio do *software* estatístico ASSISTAT (SILVA e AZEVEDO, 2006).

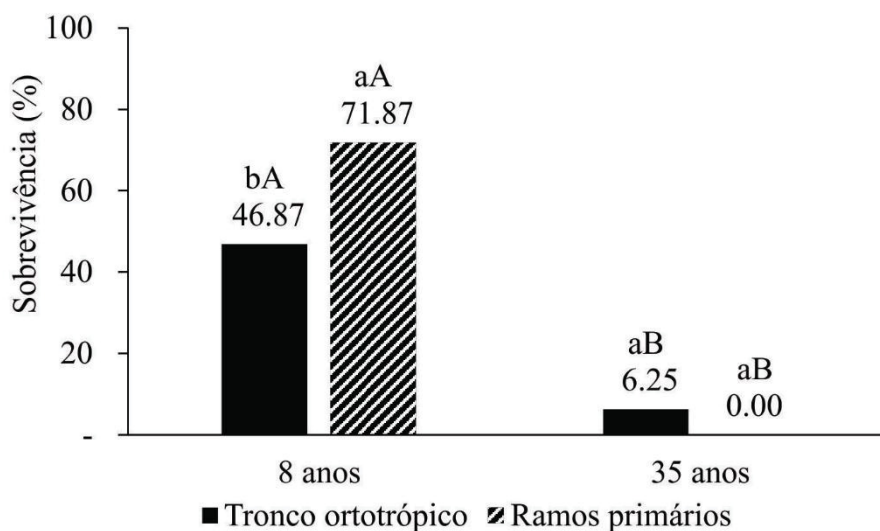
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de sobrevivência dos enxertos mostraram interação significativa ($P < 0,05$) entre o hábito de crescimento (tronco ortotrópico e ramos primários) e a idade dos porta-enxertos (8 e 35 anos de idade) apenas aos 16 meses após a enxertia, para as duas épocas analisadas (outono e primavera de 2015).

Os maiores percentuais de sobrevivência, 71,87% e 46,87%, dos enxertos realizados no outono de 2015 foram observados para propágulos provenientes de brotações de ramos primários e tronco ortotrópico sobre porta-enxertos jovem (8 anos de idade), respectivamente. No entanto, o uso de porta-enxertos adulto (35 anos de idade) não evidenciou o efeito da origem dos propágulos, com baixo percentual de sobrevivência (6,25%) para os enxertos provenientes de brotações de

tronco e 0% de sobrevivência para os enxertos provenientes de ramos primários após 16 meses (FIGURA 4.8).

FIGURA 4.8 - SOBREVIVÊNCIA DE ENXERTOS DE *A. angustifolia* EM FUNÇÃO DO HÁBITO DE CRESCIMENTO E IDADE DOS PORTA-ENXERTOS AOS 16 MESES APÓS A ENXERTIA REALIZADA NO OUTONO DE 2015



FONTE: A autora (2017).

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da idade e maiúscula entre as idades não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey..

Os reduzidos índices de sobrevivência de ambos os enxertos, de origem de tronco ortotrópico e ramo primário, em porta-enxerto adulto (35 anos de idade), podem estar relacionados ao menor metabolismo dos ramos localizados no terço médio e inferior da copa, aliados à maior maturidade fisiológica dos ramos do porta-enxerto adulto (35 anos de idade).

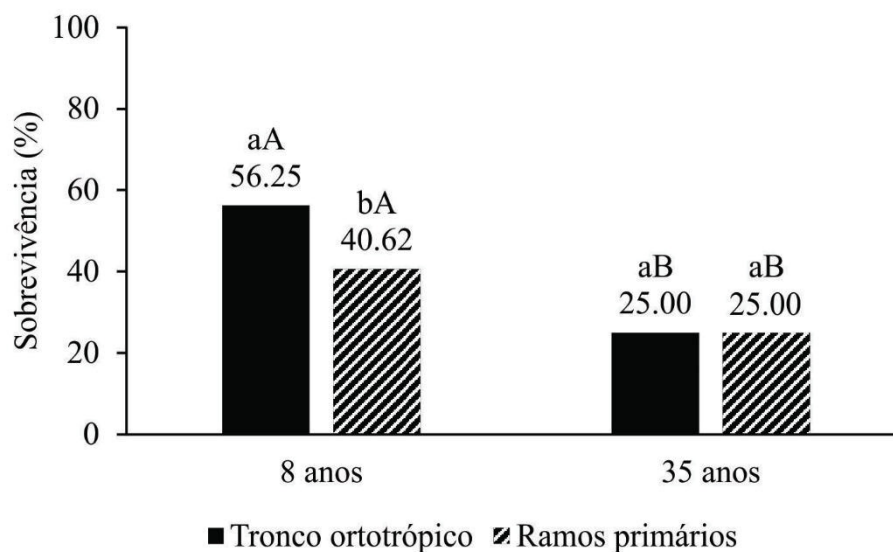
Um dos fatores determinantes na escolha de porta-enxerto para espécies florestais é a similaridade de crescimento e de idade entre enxerto e porta-enxerto. (JAYAWICKRAMA et al., 1991). De maneira semelhante, o vigor e estágio de desenvolvimento têm sido fatores determinantes no sucesso da enxertia, favorecida pela utilização de ramos jovens em detrimento daqueles mais próximos à senescência em araucária. (WENDLING et al., 2017). O efeito da senescência de ramos na sobrevivência de enxertos de copa foi descrito para *Pinus elliottii* var. *elliottii*, com maior sobrevivência daqueles realizados na porção média da copa, seguido do ápice e menores percentuais de sobrevivência na porção basal. (PEREZ et al., 2007).

A diminuição do vigor fisiológico é resultado da maturação dos vegetais e apresenta como consequências a redução nas taxas de crescimento e o aumento da senescência, (MENCUCCINI et al., 2007; HARTMANN et al., 2011; WENDLING et al., 2014), fatores definidos como preponderantes no processo de sobrevivência de enxertos de araucária. (WENDLING et al., 2016). Os efeitos gerados pela utilização de porta-enxertos de diferentes idades foram relatados para *Picea rubens* e *Pseudotsuga menziesii*, com a inibição do crescimento ao utilizar porta-enxertos adultos e, conseqüentemente, um aumento do vigor em porta-enxertos jovens (BOND et al., 2007; GREENWOOD, DAY e SCHATZ, 2010). Evidenciando assim, a importância da idade ontogenética dos porta-enxertos na sobrevivência e vigor dos enxertos.

A compatibilidade entre o enxerto e porta-enxerto é um fator importante no processo de enxertia e compreende aspectos morfológicos, anatômicos, fisiológicos e bioquímicos das plantas. (RONCATTO et al., 2011; YIN et al., 2012). A compatibilidade morfoanatômica tem sido descrita para a araucária como um dos fatores preponderantes ao sucesso nas conexões vasculares, devendo-se respeitar a semelhança entre propágulos no que diz respeito à fisiologia, anatomia, consistência dos tecidos, porte e vigor entre enxerto e porta-enxerto. (WENDLING et al., 2017).

A compatibilidade morfoanatômica entre enxerto e porta-enxerto pode explicar, inclusive, a maior sobrevivência de enxertos provenientes de ramos primários, sobretudo no outono, os quais mostraram-se superiores, alcançando 71,87% de sobrevivência após 16 meses (FIGURA 4.8). De maneira geral, quanto maior a afinidade entre enxerto e porta-enxerto, maiores as possibilidades de sucesso da enxertia. Do mesmo modo, quanto mais maduros e complexos forem os órgãos ou tecidos, mais difícil será o êxito da enxertia. Os maiores percentuais de sobrevivência, 56,25% e 40,62%, dos enxertos realizados na primavera de 2015, foram observados para propágulos provenientes de brotações de tronco ortotrópico e ramos primários, respectivamente, sobre porta-enxertos jovens (8 anos de idade). Já para porta-enxertos de 35 anos de idade não se observou efeito da origem dos propágulos (FIGURA 4.9).

FIGURA 4.9 - SOBREVIVÊNCIA DE ENXERTOS DE *A. angustifolia* EM FUNÇÃO DO HÁBITO DE CRESCIMENTO E IDADE DO PORTA-ENXERTO AOS 16 MESES APÓS A ENXERTIA REALIZADA NA PRIMAVERA DE 2015



FONTE: A autora (2017).

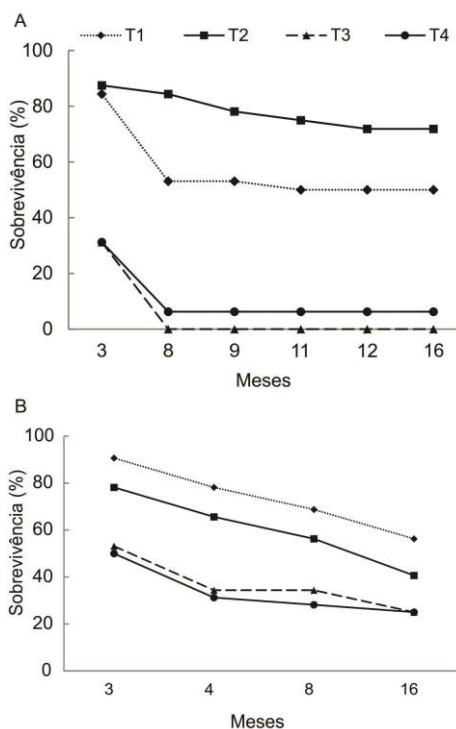
LEGENDA: Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da idade e maiúscula entre as idades não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Os maiores percentuais de sobrevivência dos enxertos, após 16 meses de avaliação, foram em porta-enxertos de 8 anos de idade, independente da época de enxertia e do hábito de crescimento. Ao comparar os dois períodos de enxertia, outono e primavera, observou-se maior percentual de sobrevivência dos enxertos na primavera, em porta-enxertos de 35 anos de idade, podendo ser considerado um bom indicativo para pesquisas futuras.

Ao longo dos 16 meses de avaliação, constatou-se uma tendência decrescente para a sobrevivência dos enxertos, nas duas épocas de enxertia (FIGURA 4.10). Em estudos avaliando a técnica de enxertia em mudas jovens (até três anos) de araucária, a avaliação de sobrevivência dos enxertos normalmente abrange um período de até 6 meses. (OLIVEIRA, 2010; ZANETTE et al., 2011; CONSTANTINO e ZANETTE, 2015; WENDILING, 2011 e 2015; WENDILING et al., 2016).

No decorrer do presente estudo, observou-se uma redução nos percentuais de sobrevivência, culminando com a estabilidade aos 16 meses após a aplicação da técnica. Contudo, quanto mais rápido ocorrer a união (soldadura) dos tecidos do enxerto e porta-enxerto, maior será o sucesso da operação, considerando ainda que esta eficiência diminui o período em que o enxerto fica exposto aos riscos da desidratação (HARTMANN et al., 2011).

FIGURA 4.10 - SOBREVIVÊNCIA DE ENXERTOS DE *A. angustifolia* EM FUNÇÃO DO HÁBITO DE CRESCIMENTO E IDADE DO PORTA-ENXERTO



FONTE: A autora (2017).

NOTA: Idade do porta-enxerto aos 16 meses após a enxertia realizada no outono de 2015 (A) e na primavera de 2015 (B).

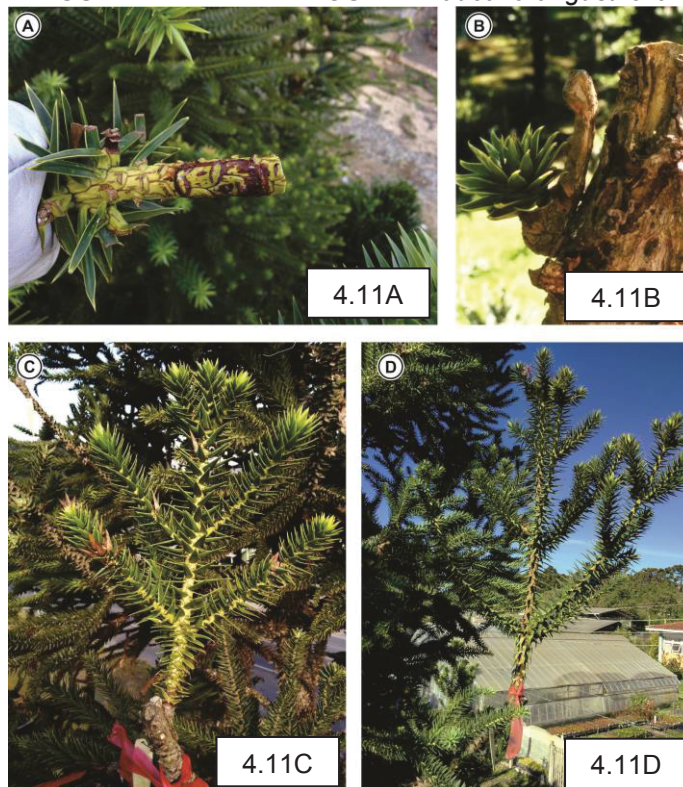
LEGENDA: (T1) Porta-enxertos de 8 anos de idade e enxertos de tronco ortotrópico; (T2) Porta-enxertos de 8 anos de idade e enxertos de ramos primários; (T3) Porta-enxertos de 35 anos de idade e enxertos de ramos primários; (T4) Porta-enxertos de 35 anos de idade e enxertos de tronco ortotrópico.

Notou-se, ao longo do experimento, a presença de enxertos vivos com baixa qualidade de soldadura entre enxerto e porta-enxerto (FIGURA 4.11). A redução de sobrevivência dos enxertos ao longo de um período de avaliação também foi observada em outros trabalhos com borbulhia de placa (KOTZ et al., 2011; WENDLING et al., 2016), devido a uma má cicatrização da borbulhia, acarretando em morte do enxerto. Entretanto, são necessários estudos adicionais para esclarecer esses efeitos.

No processo de união entre enxerto e porta-enxerto é comum a formação de calos em ambas as partes, seguido da diferenciação destes, culminando com a recomposição do sistema vascular da planta. (MARTÍNEZ-BALLESTA et al., 2010; HARTMANN et al., 2011). A má qualidade dessa união pode, muitas vezes, estar relacionada à baixa ocorrência de calos, ocasionada pelo mau contato entre as partes no momento da aplicação da técnica, resultando em redução nas taxas de

crescimento e, principalmente, na mortalidade de enxertos. (JOHKAN et al., 2009; MARTÍNEZ-BALLESTA et al., 2010; YIN et al., 2012).

FIGURA 4.11 - ENXERTOS DE *Araucaria angustifolia*



FONTE: A autora (2017).

LEGENDA: Enxerto vivo: (A) 3 meses após a enxertia, com remoção da porção apical do ramo enxertado (porta-enxerto); (B) com baixa qualidade de soldadura; (C) tronco ortotrópico após 16 meses em porta-enxerto com 35 anos de idade e; (D) tronco ortotrópico após 26 meses em porta-enxerto com 8 anos de idade.

Em relação à emissão de brotações para enxertos realizados no outono de 2015, os melhores resultados foram observados em porta-enxertos de 8 anos de idade, com maiores percentuais de enxertos brotados com a utilização de propágulos ramos primários (75%), seguido dos troncos ortotrópicos (46,9%). Já para o número e comprimento médio de brotos, não foi possível observar essa superioridade na utilização de porta-enxertos jovens. Contudo, é possível notar uma tendência decrescente para o número (NB) e comprimento médio das brotações (CMB) dos porta-enxertos mais jovens (8 anos) para os mais velhos (35 anos) (TABELA 4.1).

TABELA 4.1 - PERCENTUAL DE EMISSÃO (EB), NÚMERO (NB) E COMPRIMENTO MÉDIO DE BROTAÇÕES (CMB) DOS ENXERTOS EM FUNÇÃO DO HÁBITO DE CRESCIMENTO E IDADE DOS PORTA-ENXERTOS DE *A. angustifolia* AOS 16 MESES APÓS A ENXERTIA REALIZADA NO OUTONO DE 2015

TRATAMENTOS*	EB (%)	NB (und)	CMB (cm)
T1	46,90 ab	1,14 a	20,90 a
T2	75,00 a	1,29 a	34,45 a
T3	0,00 c	0,00 c	0,00 c
T4	12,50 b	1,00 a	15,00 a
Médias	44,8	1,14	23,45
Coefficientes de variação (%)	45,86	16,25	44,81

FONTE: A autora (2017).

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

LEGENDA: *(T1) Porta-enxertos de 8 anos de idade e enxertos de tronco ortotrópico; (T2) Porta-enxertos de 8 anos de idade e enxertos de ramos primários; (T3) Porta-enxertos de 35 anos de idade e enxertos de ramos primários; (T4) Porta-enxertos de 35 anos de idade e enxertos de tronco ortotrópico.

Os resultados observados reforçam a hipótese dos efeitos positivos gerados pela utilização de porta-enxerto jovem (8 anos de idade). As características de juvenilidade do porta-enxerto, associadas à qualidade do material propagativo e de aplicação da técnica, resultam em uma maior sobrevivência e vigor destes enxertos.

Para a emissão de brotações para enxertos realizados na primavera de 2015, não foi possível observar diferenças significativas para nenhuma das variáveis analisadas. Contudo, vale ressaltar os maiores valores para a utilização de porta-enxertos de 8 anos de idade em comparação aos de 35 anos de idade para EB e CMB (TABELA 4.2). Observou-se ainda, uma tendência decrescente dos porta-enxertos mais jovens (8 anos) para o mais velhos (35 anos), tornando evidente que o estágio de maturação dos porta-enxertos pode ser um indicativo de limitações morfoanatômicas e fisiológicas para estas duas variáveis.

TABELA 4.2 - PERCENTUAL DE EMISSÃO (EB), NÚMERO (NB) E COMPRIMENTO MÉDIO DE BROTOS (CMB) DOS ENXERTOS EM FUNÇÃO DO HÁBITO DE CRESCIMENTO E IDADE DOS PORTA-ENXERTOS DE *A. angustifolia* AOS 16 MESES APÓS A ENXERTIA REALIZADA NA PRIMAVERA DE 2015

TRATAMENTOS*	EB (%)	NB (und)	CMB (cm)
T1	41,7 a	1,0 a	33,83 a
T2	40,6 a	1,1 a	32,78 a
T3	31,3 a	1,0 a	25,42 a
T4	18,8 a	1,0 a	17,12 a
MÉDIAS	33,1	1,03	27,28
COEFICIENTES DE VARIAÇÃO (%)	50,92	15,65	44,67

FONTE: A autora (2017).

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

LEGENDA: *(T1) Porta-enxertos de 8 anos de idade e enxertos de tronco ortotrópico; (T2) Porta-enxertos de 8 anos de idade e enxertos de ramos primários; (T3) Porta-enxertos de 35 anos de idade e enxertos de ramos primários; (T4) Porta-enxertos de 35 anos de idade e enxertos de tronco ortotrópico.

A técnica de enxertia de copa é muito empregada em coníferas do gênero *Pinus*, no Brasil e no mundo, quase sempre visando à precocidade na indução de estróbilos, podendo em alguns casos, ser alcançada no primeiro ano após a enxertia.

Embora não tenha encontrado trabalhos de enxertia de copa em araucária, alguns resultados realizados com enxertia em plantas jovens (1 - 3 anos) mostram que os obtidos no presente estudo podem ser considerados adequados. (ZANETTE, 2011; CONSTANTINO e ZANETTE, 2015; WENDILING, 2011 e 2015; WENDILING et al., 2016).

4.4 CONCLUSÕES

A enxertia de copa é viável para araucária, favorecida pelo uso de porta-enxertos mais jovens (8 anos de idade) e enxertos de ramos primários.

Os hábitos de crescimento dos enxertos são mantidos de forma idêntica ao original.

REFERÊNCIAS

- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2017**. Brasília: IBÁ, 2017. 79 p. Relatório da Indústria Brasileira de Árvores. Disponível em: <<http://www.iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acesso em: 22/09/2017.
- ALMQVIST, C. (a) Survival and strobili production in topgrafted scions from young *Pinus sylvestris* seedlings. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 28, n. 6, p. 533-539, 2013. DOI: 10.1080/02827581.2013.803598
- ALMQVIST, C. (b) Interstock effects on topgraft vitality and strobili production after topgrafting in *Pinus sylvestris*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 43, n. 6, p. 584-588, 2013. DOI: 10.1139/cjfr-2012-0507
- BOND, B. J.; CZARNOMSKI, N. M.; COOPER, C.; DAY, M. E.; GREENWOOD, M. S. Developmental decline in height growth in Douglas-fir. **Tree Physiology**, v. 27, n. 3, p. 441-453, 2007. DOI: 10.1093/treephys/27.3.441
- CONSTANTINO, V.; ZANETTE, F. Produção de borbulhas ortotrópicas para enxertia de *Araucaria angustifolia*. **Acta Biológica Paranaense**, v. 44, p. 1-4, 2015.
- DANNER, M. A.; ZANETTE, F.; RIBEIRO, J. Z. Plantation of Brazilian pine for nuts production as a conservation tool. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v. 32, p. 441-451, 2012. DOI: 10.4336/2012.pfb.32.72.441.
- DIAS, P. C.; OLIVEIRA, L. S.; XAVIER, A.; WENDLING, I. Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 453-462, 2012. DOI: 10.4336/2012.pfb.32.72.453.
- GONÇALVES, P. M.; NOREÑA, C. P. Z.; SILVEIRA, N. P.; BRANDELLI, A. Characterization of starch nanoparticles obtained from *Araucaria angustifolia* seeds by acid hydrolysis and ultrasound. **Food science & technology**, v. 58, n. 1, p. 21-27, 2014. DOI:10.1016/j.lwt.2014.03.015.
- GREENWOOD, M. S.; DAY, M. E.; SCHATZ, J. Separating the effects of tree size and meristem maturation on shoot development of grafted scions of red spruce (*Picea rubens*). **Tree Physiology**, v. 30, p. 459-468, 2010. DOI: 10.1007/s00468-013-0911-z
- HARTMANN, H. T.; KERSTER, D. E.; DAVIES JR, F. T.; GENEVE, R. L. **PLANT PROPAGATION: principles and practices**. 8 ed. Boston: Prentice Hall. 2011. 915 p.
- JAYAWICKRAMA, K. J. S.; JETT, J. B.; MCKEAND, S. E. Rootstock effects in grafted conifers: **A review**. **New Forest**, V. 5, P. 157-173. 1991. DOI: 10.1007/BF00029306.

JOHKAN, M.; MITUKURI, K.; YAMASAKI, S.; MORI, G.; ODA, M. Causes of defoliation and low survival rate of grafted sweet pepper plants. **Scientia Horticulturae**, v.119, p. 103-107, 2009. DOI: 10.1016/j.scienta.2008.07.015

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. Handbuch der Klimatologie, Bd. 1, Teil C. Berlin, 1936. 44 p.

KOTZ, T. E.; PIO, R.; CAMPAGNOLO, M. A.; CHAGAS, E. A.; DALASTRA, I. M. Enxertia em figueira 'Roxo de Valinhos' por borbulhia e garfagem. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 344-348, 2011.

KUHN, S. A.; MARIATH, J. E. A. Reproductive biology of the "Brazilian pine" (*Araucaria angustifolia* - Araucariaceae): Development of microspores and microgametophytes. Flora - Morphology, Distribution, **Functional Ecology of Plants**, v. 5-6, n. 209, p. 290-299, 2014. DOI:10.1016/j.flora.2014.02.009.

MARTÍNEZ-BALLESTA, M. C.; ALCARAZ-LÓPEZ, C.; MURIES, B.; MOTA-CADENAS, C.; CARVAJAL, M. Physiological aspects of rootstock-scion interactions. **Scientia Horticulturae**, v.127, n. 2, p. 112-118. 2010.

MENCUCCINI, M.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; HAMID, H. A.; KORAKAKI, E.; VANDERKLEIN, D. Evidence for age-and size-mediated controls of tree growth from grafting studies. **Tree Physiology**, v. 3, n. 27, p. 463-473, 2007.

NAZARENO, A. G.; REIS, M. S. At Risk of Population Decline An Ecological and Genetic Approach to the Threatened Palm Species (Arecaceae) of Southern Brazil. **Journal Of Heredity**, v.1, n. 105, p. 120-129, 2014. DOI: 10.1093/jhered/est065.

OLIVEIRA, L. S. **Enxertia, microenxertia e descrição do tropismo em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 2010. 90 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PEREZ, A. M. M.; WHITE, T.L.; DUDLEY A. HUBER, D. A.; MARTIN, T. A. Graft survival and promotion of female and male strobili by topgrafting in a third-cycle slash pine (*Pinus elliottii* var. *elliottii*) breeding program. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 37, p. 1244-1252, 2007. DOI: 10.1139/X07-004

RONCATTO, G.; ASSIS, G. M. L. de; OLIVEIRA, T. K. de; LESSA, L. S. Pegamento da enxertia em diferentes combinações de variedades e espécies utilizadas como copa e como porta-enxertos de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 948-953, 2011.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; HOFFMANN, H. A.; BETTIO, G.; HANSEL, F. Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. Nota Técnica. **Agronomia Costarricense**, v. 2, n. 33, p. 309-319, 2009.

WENDLING, I. **Enxertia e florescimento precoce em *Araucaria angustifolia***. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 7p. (Comunicado Técnico, 272).

WENDLING, I.; TRUEMAN, S. J.; XAVIER, A. Maturation and related aspects in clonal forestry-Part I: concepts, regulation and consequences of phase change. **New Forests**, v. 4, n. 45, p. 449-471, 2014. DOI: 10.1007/s11056-014-9421-0

WENDLING, I. **Tecnologia de enxertia de *Araucaria angustifolia* para produção precoce de pinhões, com plantas de porte reduzido**. Embrapa Florestas, 2015. 7 p. (Comunicado Técnico, 351).

WENDLING, I.; STUEPP, C. A.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. *Araucaria angustifolia* grafting: techniques, environments and origin of propagation material. **Bosque**, v. 37, n. 2, p. 285-293, 2016.

WENDLING, I.; ZANETTE, F.; RICKLI-HORSTI, H.; CONSTANTINO, V. Produção de mudas de araucária por enxertia. In: WENDLING, I.; ZANETTE, F. **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília – DF, Embrapa, 2017. 159 p.

YIN, H.; YAN, B.; SUN, J.; JIA, P.; ZHANG, Z.; YAN, X.; CHAI, J.; REN, Z.; ZHENG, G.; LIU, H. Graft-union development: a delicate process that involves cell–cell communication between scion and stock for local auxin accumulation. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, p. 4219-4232, 2012. DOI: 10.1093/jxb/ers109

ZANETTE, F.; OLIVEIRA, L. S.; BIASI, L. A. Grafting of *Araucaria angustifolia* through the four seasons of the year. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1364-1370, 2011.

ZANETTE, F.; DANNER, M. A.; CONSTANTINO, V.; WENDLING, I. Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia*. In: WENDLING, I.; ZANETTE, F. **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília – DF, Embrapa, 2017. 159 p.

5 PREDIÇÃO DE HÁBITOS DE CRESCIMENTO EM *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) KUNTZE POR MEIO DA ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO E DA CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO INDOLIL-3-ACÉTICO

RESUMO

Algumas espécies florestais, como a *Araucaria angustifolia*, possuem padrões dimórfico de crescimento de seus ramos, sendo considerados ramos primários e tronco ortotrópico. Os ramos primários ocorrem em maior quantidade na planta e seu uso na propagação vegetativa compromete o desenvolvimento normal (tropismo). O uso de ferramentas que viabilizem a predição do hábito de crescimento auxilia nos trabalhos de resgate de materiais superiores e ameaçados de extinção, bem como nos programas de melhoramento florestal. A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) é um método que pode ser eficiente em predizer os hábitos de crescimento em plantas. O hormônio ácido indolil-3-acético (IAA) é uma auxina natural, presente na forma livre ou conjugada com as proteínas, aminoácidos e outros componentes, e pode estar relacionado ao hábito de crescimento da planta. No presente estudo, avaliou-se a eficiência da predição dos hábitos de crescimento dos ramos primários e tronco ortotrópico, em araucária de diferentes idades, com o uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), bem como a correlação dos hábitos com a concentração endógena de IAA. Utilizaram-se acículas de ramos primários e tronco ortotrópico de plantas com 3, 8 e 35 anos de idade. Foram realizados dois experimentos: 1- análise das acículas de ramos primários e tronco ortotrópico de materiais provenientes de diferentes genótipos de araucária por meio de espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) em conjunto com a regressão por mínimos quadrados parciais (PLS), com o uso do NIR portátil e de bancada; 2- análise hormonal (IAA) das acículas de ramos primários e tronco ortotrópico de materiais provenientes de diferentes genótipos de araucária. A calibração do NIR mostrou-se eficiente para uso na predição dos hábitos de crescimento nos ramos primários e no tronco ortotrópico da araucária. A concentração endógena de IAA teve boa correlação com os hábitos de crescimento, demonstrando ser uma ferramenta potencial para sua predição.

Palavras-chave: Tronco ortotrópico. Ramos primários. Auxina. NIR. Pinheiro-do-paraná.

ABSTRACT

Some forest species, such as *Araucaria angustifolia*, have dimorphic growth patterns of their branches, considered primary branches and orthotropic trunk. The plant has more primary branches, which are used for vegetative propagation and compromise the plants' normal development (tropism). Using tools that predict growth habits helps to save superior and endangered materials, as well as forest improvement programs. The Near Infrared Spectroscopy (NIR) is a method based on prediction that can efficiently predict the growing habits of plants. The hormone Indolil acid-3-acetic (IAA) is a natural auxin present in the free or conjugated form with proteins, amino acids, and other components, which may be related to the growing habit of the plant. In the present study, we evaluated the efficiency of the prediction of growth habits for the primary branches and orthotropic trunk in *Araucaria* with different ages using the Near Infrared Spectroscopy (NIR), as well as the correlation of habits using the endogenous concentration of IAA. We used needles from primary branches and orthotropic trunk of 3, 8 and 35-year-old plants. Two experiments were carried out: 1- Analysis of the needles from primary branches and orthotropic trunk using different *Araucaria* genotypes by means of near-infrared spectroscopy (NIR) along with the regression of minimal Partial squares (PLS), using the portable and benchtop NIR; 2- Hormonal analysis (IAA) of needles from primary branches and orthotropic trunk from different *Araucaria* genotypes. The calibration of the NIR proved to be efficient to predict of growth habits of primary branches and orthotropic trunk of *Araucaria*. The endogenous concentration of IAA presented a good correlation with the growth habits, proving to be a potential prediction tool.

Key words: Orthotropic trunk. Primary branches. Auxin. NIR. Paraná pine.

5.1 INTRODUÇÃO

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) conhecida popularmente como araucária, pinheiro brasileiro e pinheiro-do-paraná, é a única espécie de seu gênero com ocorrência natural no Brasil e endêmica nas regiões sul e sudeste, com grande importância socioeconômica e ecológica para a região Sul. (YAMAGUCHI e KATO, 2012). Trata-se de uma Gimnosperma, cujos ramos apresentam dois hábitos de crescimento distintos, o ortotrópico e o plagiotrópico. As partes ortotrópicas da araucária são referenciadas como tronco ortotrópico e as plagiotrópicas como ramos primários e secundários (grimpas). (ZANETTE et al., 2017).

Em plantas superiores, os ramos laterais normalmente são mantidos em ângulos específicos em relação à gravidade, sendo os mecanismos subjacentes ao crescimento angular dependentes da gravidade não plenamente conhecidos. (ROYCHOUDHRY et al., 2013). O hábito de crescimento plagiotrópico é caracterizado por uma diferenciação somática, que se mostrou, até o momento, irreversível nos estudos para a araucária, influenciado por fatores hormonais, nutricionais e ambientais. Envolvidos por mecanismos complexos, os fatores que são responsáveis por esse hábito de crescimento ainda não estão esclarecidos. (IRITANI, ZANETTE e CISLINSKI, 1992).

Os únicos meristemas que podem dar origem a tronco ortotrópico nas espécies da família Araucariaceae são os provenientes da gema terminal, e aqueles provenientes das gemas dormentes ao longo do tronco, evidenciando um hábito de crescimento ortotrópico no ramo central apical e plagiotrópico nos ramos de primeira à quinta ordem. (NIKLES, 1964). Por possuir uma forte dominância apical a araucária tem um plagiotropismo acentuado, com ramos formando ângulo de 90° com o eixo principal. (OLIVEIRA, 2010).

Muito embora a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) seja uma técnica de análise bastante avançada, sua eficácia é diretamente dependente dos métodos analíticos tradicionais, já que é imprescindível a sua calibração a partir dos resultados desses. Os principais entraves, para a aplicação mais frequente desta técnica, são os custos para aquisição e manutenção dos equipamentos, além da necessidade de sistematização dos dados, e em alguns casos, a premissa de

grandes quantidades de material para que se proceda à análise. (SANTOS et al. 2012).

O ácido indolil-3-acético (IAA) se caracteriza por ser a principal auxina das plantas, sendo ativo em concentrações extremamente baixas. O IAA não é apenas sintetizado nas plantas, mas também inativado durante os processos de crescimento e diferenciação. A oxidação do IAA pode ocorrer por um processo de foto-oxidação e através de reações de oxidação catalisadas por enzimas (IAA-oxidase). Além dos processos de oxidação, o IAA pode ligar-se a outras moléculas na planta, produzindo conjugados que podem reter ou perder a atividade auxínica. (SALISBURY, 1991).

Este trabalho objetivou usar a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR), em conjunto com a regressão por mínimos quadrados parciais (PLS), para separar os dois hábitos de crescimento (ramos primários e tronco ortotrópico) de araucária. E avaliar a concentração endógena de IAA em ramos dos dois hábitos de crescimento em plantas de araucária em diferentes idades.

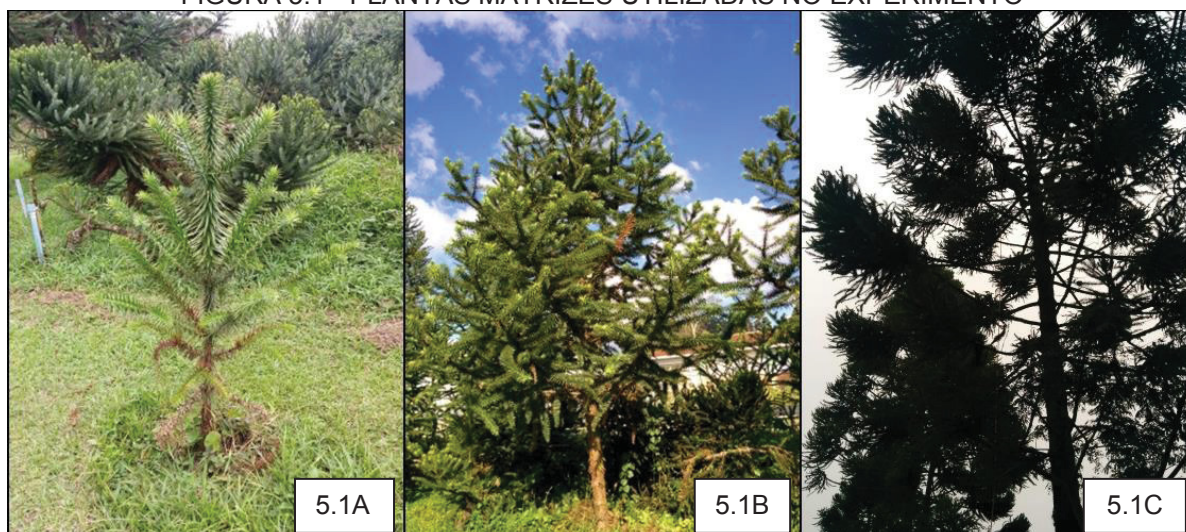
5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido entre maio e dezembro de 2016. A obtenção dos espectros NIR e as quantificações das concentrações de IAA das acículas de araucária foram realizadas respectivamente no Laboratório de Tecnologia da Madeira e no Laboratório de Tecnologia de Produtos Não Madeiráveis, da Embrapa Florestas, em Colombo/PR. O material vegetal foi proveniente de plantas estabelecidas na área experimental da Embrapa Florestas (FIGURA 5.1A, 5.1B e 5.1C), em Colombo/PR (25°20' S e 49°14' W, 950 metros de altitude em relação ao nível do mar).

Segundo a classificação de Köppen (1936), o clima da região é temperado, do tipo Cfb, com temperatura do mês mais frio entre -3 °C e 18 °C, sempre úmido, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C.

FIGURA 5.1 - PLANTAS MATRIZES UTILIZADAS NO EXPERIMENTO



FONTE: A autora (2016).

LEGENDA: Árvore matriz com: (A) 3 anos de idade de origem seminal; (B) 8 anos de idade, formada por enxertia de tronco ortotrópico; (C) 35 anos de idade de origem seminal.

5.2.2 Coleta do material vegetal

Foram coletadas acículas de ramos primários e tronco ortotrópico de plantas de araucária com 3 e 35 anos de idade, ambas de origem seminal, e de árvore de 8 anos de idade, enxertada a partir de tronco ortotrópico. Foram utilizadas acículas de um único indivíduo por idade. Para a coleta dos espectros e análise de IAA foi considerado o hábito de crescimento (ramos primários e tronco ortotrópico) e a idade (3, 8 e 35 anos de idade) das plantas de araucária.

5.2.3 Preparo das amostras para leitura do NIR portátil e de bancada

A partir de propágulos de ramos primários e tronco ortotrópico (FIGURA 5.2A) coletados de cada planta matriz, foram selecionadas 40 acículas da porção terminal dos ramos, realizados em triplicata. As acículas foram retiradas dos ramos primários e do tronco ortotrópico (FIGURA 5.2B) com auxílio de tesoura de poda, e realizada a leitura do NIR portátil (Thermo Fisher Scientific) em cada uma das acículas (FIGURA 5.2C). Em seguida, as acículas foram acondicionadas em tubos tipo Falcon, envoltos com papel alumínio (FIGURA 5.2D), e inseridas em caixa de isopor contendo nitrogênio líquido, armazenadas, posteriormente, em Ultrafreezer Sanyo (modelo: MDFU54VC) a - 80 °C.

FIGURA 5.2 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PREPARO DAS AMOSTRAS



FONTE: A autora (2016).

LEGENDA: (A) Propágulos coletados das plantas matrizes; (B) Remoção das acículas dos ramos primários e tronco ortotrópico; (C) Leitura dos espectros com NIR portátil; (D) Armazenamento em tubos tipo Falcon.

Após a coleta, preparo e armazenamento do material vegetal, o mesmo foi liofilizado por 72 horas e armazenado em Ultrafreezer a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ até o momento da análise. O processo de liofilização foi realizado em Liofilizador Edwards – super Modulyo, no Departamento de Bioquímica, Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR.

Após a secagem, em liofilizador, as amostras foram transportadas em caixas térmicas com nitrogênio líquido e armazenadas novamente em freezer a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Em seguida, foi utilizado um triturador em moinho analítico de faca, com câmara de moagem de 80 ml (modelo A11 Basic, marca IKA), para triturar as amostras até que virassem pó com granulometria uniforme.

5.2.4 Leitura e análise dos espectros por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)

A leitura dos espectros com NIR portátil foi realizada no momento da coleta das acículas, com leitura individual para cada uma das 40 acículas retirados da porção terminal dos ramos. Essa leitura foi realizada em triplicata (3 repetições) a partir das três idades de plantas: 3, 8 e 35 anos, e dos dois hábitos de crescimento, ramos primários e tronco ortotrópico.

Para as calibrações do NIR de bancada, visando à separação dos dois hábitos de crescimento de ramos primários e tronco ortotrópico, utilizaram-se amostras de acículas obtidas pelos mesmos procedimentos metodológicos de coleta, secagem e moagem descritos acima.

Após o preparo das amostras, estas foram levadas para o aparelho FEMTO para realizar a leitura dos espectros com o NIR de bancada. Ao todo foram utilizadas

6 amostras de acículas originadas dos ramos primários e tronco ortotrópico das plantas de 3, 8 e 35 anos de idade, com 3 repetições, totalizando 18 amostras. Os espectros das acículas de araucária foram lidos com comprimento de onda entre 1000 e 2500 nm, coletados a cada 1 nm. Os espectros sofreram quatro transformações: 1- normalização pela área; 2- normalização quantile; 3- correção multiplicativa de espalhamento (MSC); 4- derivatização de segunda ordem usando polinômio de segunda ordem e deixando 50 pontos à direita e à esquerda para alisamento.

Foram atribuídos valores de 0 para amostras de ramos primários e de 1 para tronco ortotrópico. Em seguida, realizou-se análise de regressão dos mínimos quadrados parciais – PLS, entre os espectros e os valores 0 e 1, para estabelecer a correlação entre as informações espectrais e os hábitos de crescimento.

5.2.5 Análise Hormonal para Ácido Indolil-3-Acético - IAA

Para armazenamento do material vegetal moído, as amostras foram acondicionadas em papel alumínio, pesadas (0,3 g) e inseridas em frascos de vidro de cor âmbar de 5 mL envolvidos em papel alumínio, com imediato armazenamento em freezer a - 80 °C para posterior análise laboratorial.

A extração e purificação foi realizada de acordo com a metodologia adaptada e descrita por Kelen et al. (2004). A solução utilizada para a extração foi MeOH:H₂O (5 mL, 7:3, v/v) contendo 0,1 mg L⁻¹ de 2,6-t-buti-4-metil-fenol (BHT, Sigma-Aldrich), a qual foi adicionada 10 µL de ácido indolil-3-acético hepta deuterado (IAA-D7) como padrão interno, em concentração de 0,2 mg mL⁻¹ (Sigma-Aldrich).

Durante o protocolo metodológico, para cada amostra foi direcionado fluxo de nitrogênio gasoso por 30 segundos – para resfriamento do frasco - e então levada para geladeira a 4 °C em *overnight*. Decorridas 24 horas, realizou-se a transferência da solução para um tubo de ensaio (10 mL) e posterior centrifugação da amostra a 1000 rpm, por 5 minutos e temperatura média de 15 °C. Em seguida a solução foi transferida para um balão de ensaio de 100 mL, a qual foi levada ao rota- evaporador a 110 rpm, em banho-maria, à 35 °C, para ser concentrada a 2 mL de volume. Posteriormente, a solução foi transferida para um tubo de ensaio com capacidade de 20 ml, com posterior lavagem do balão de ensaio com 0,5 mL de água ultrapura (tipo II) para o máximo aproveitamento da solução.

Foi utilizado hidróxido de sódio (NaOH^- $0,5 \text{ mol.L}^{-1}$) para o ajuste do pH da solução para a faixa entre 8,0 e 9,0. Na sequência, foi realizada a extração com acetato de etila (1 mL), usando um vortex para ajudar a homogeneizar a solução, e então acondicionada na centrífuga a 1000 rpm por 2 minutos, resultando em uma solução diafásica. Em seguida, foi descartado o acetato de etila – fase orgânica, processo que foi repetido duas vezes para cada solução. O pH da solução foi ajustado para 2,5, com 0,5 M de ácido clorídrico (HCl), realizada a extração da água com 1 mL de éter dietílico. Na sequência, a solução foi levada ao vortex e depois foi colocada na centrífuga por 2 minutos a 1000 rpm até ficar difásica, onde foi separada a parte de cima da amostra: esta etapa foi repetida três vezes.

As fases orgânicas foram filtradas através de sódio anidro (Na_2SO_4), coletadas em frascos de 5 mL e então a solução foi seca, com auxílio de $\text{N}_2(\text{g})$ sob fluxo lento e, por fim, armazenada em freezer a -80°C . A amostra seca foi dissolvida com 300 μL de Diclorometano (Cl_2CH_2) e realizada a derivatização com 15 μL de agente derivatizante TBS (N-t-butildimetilsilil-n-metil-trifluoro-acetamida) contendo 1% de t-butil-dimetil-clorosilano (MTBSTFA + TBDMSCI, Sigma-Aldrich). O tempo da derivatização da solução foi de 1 h, a 65°C , e então a amostra foi acondicionada em um insert e levada para análise em cromatógrafo gasoso-espectrometria de massa (FocusGC, Thermo Scientific).

5.2.6 Delineamento experimental

O delineamento experimental para a análise da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e análise hormonal – iaa, foi o inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 2×3 , dois hábitos de crescimento (ramos primários e tronco ortotrópico), com três idades de plantas matrizes (3, 8 e 35 anos). Todas as análises foram realizadas em triplicata (3 repetições).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.3.1 Espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)

Por meio do modelo PLS foi possível prever o hábito de crescimento das plantas de araucária, tanto pelo aparelho NIR portátil, quanto de bancada.

Ao testar o desempenho dos modelos de calibração para separação de hábito de crescimento, com o aparelho NIR portátil, onde é avaliado em termos de erro de predição padrão de média de raiz (RMSE), verificou-se que o modelo testado de calibração pode ser considerado promissor e ideal, pois apresenta um elevado R^2 (0,9603 e 0,8330) e baixo RMSE (0,0975 e 0,2233) (TABELA 5.1). Os coeficientes foram estatisticamente relevantes para a construção do modelo de predição PLS e estes correspondem às regiões dos espectros entre 1758-1760, 2190-2200, 2240-2250, 2367-2371 nm.

TABELA 5.1 - RESULTADOS DO MODELO PLS COM DIFERENTES REGIÕES NIR^{*}

Região de comprimento de onda (nm)	Slope	Offset	RMSE	R²
1758–1760, 2190–2200	0,9603	0,0238	0,0975	0,9603
2240–2250, 2367–2371	0,8330	0,0655	0,2233	0,8316

FONTE: A autora (2017).

NOTA: ^{*}Aparelho NIR portátil.

Ao testar o desempenho dos modelos de calibração para separação de hábito de crescimento, com o aparelho NIR de bancada, onde é avaliado em termos de erro de predição padrão de média de raiz (RMSE), verificou-se que o modelo testado de calibração pode ser considerado promissor e ideal, pois apresenta um elevado R^2 (0,7321 e 0,6862) e baixo RMSE (0,2535 e 0,2940) (TABELA 5.2). Os coeficientes foram estatisticamente relevantes para a construção do modelo de predição PLS e estes correspondem às regiões dos espectros entre 1758-1760, 2190-2200, 2240-2250, 2367-2371 nm.

TABELA 5.2 - RESULTADOS DO MODELO PLS COM DIFERENTES REGIÕES NIR^{*}

Região de comprimento de onda (nm)	Slope	Offset	RMSE	R²
1758–1760, 2190–2200	0,7321	0,1071	0,2535	0,7321
2240–2250, 2367–2371	0,6552	0,1552	0,2940	0,6862

FONTE: A autora (2017).

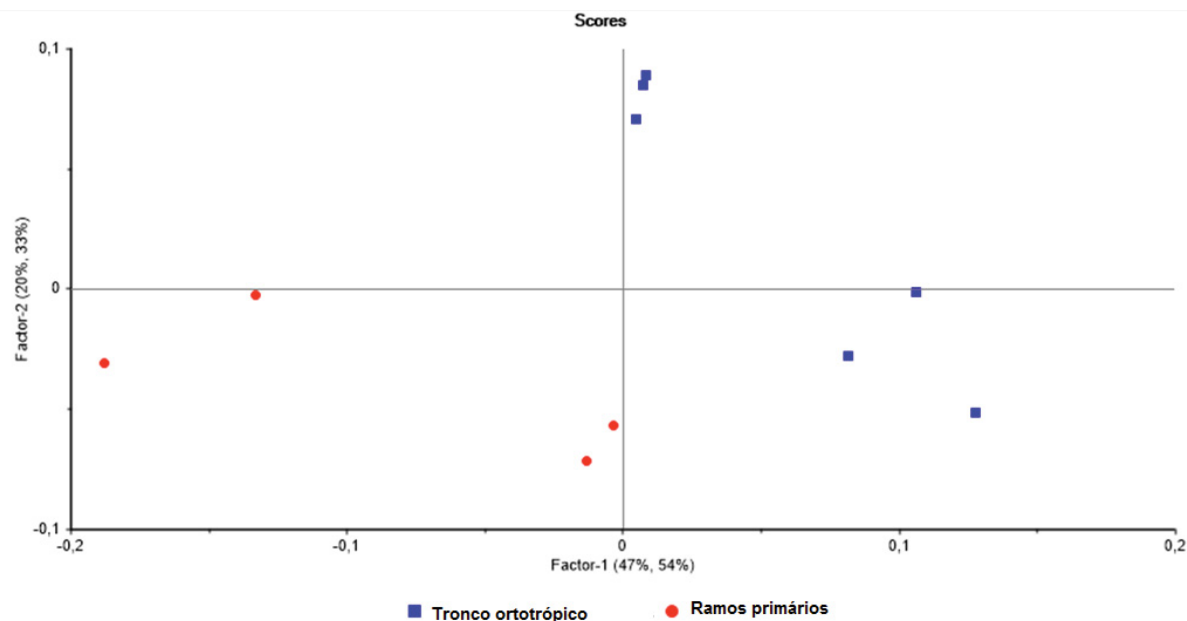
NOTA: ^{*}Aparelho NIR de bancada.

Embora, tanto o NIR portátil, quanto o de bancada conseguiram separar os dois hábitos de crescimento da araucária, esta técnica pode ser melhorada para aumentar a precisão da predição e, talvez, com um número maior de amostras, possa ser possível à diferenciação entre a idade das plantas.

Os valores previstos para o hábito de crescimento, a partir de um conjunto de validação usando o modelo proposto, estão ilustrados na Figura 5.3 e 5.4 (resultados referentes a NIR portátil e de bancada, respectivamente). Os grupos

foram segregados em binômio (Ramos primários = 0 e Tronco ortotrópico = 1), demarcando 0,5 na saída de predição.

FIGURA 5.3 - IMAGEM COM OS ESCORES PARA OS COMPONENTES PRINCIPAIS 1 E 4, COLETADOS PELO NIR PORTÁTIL

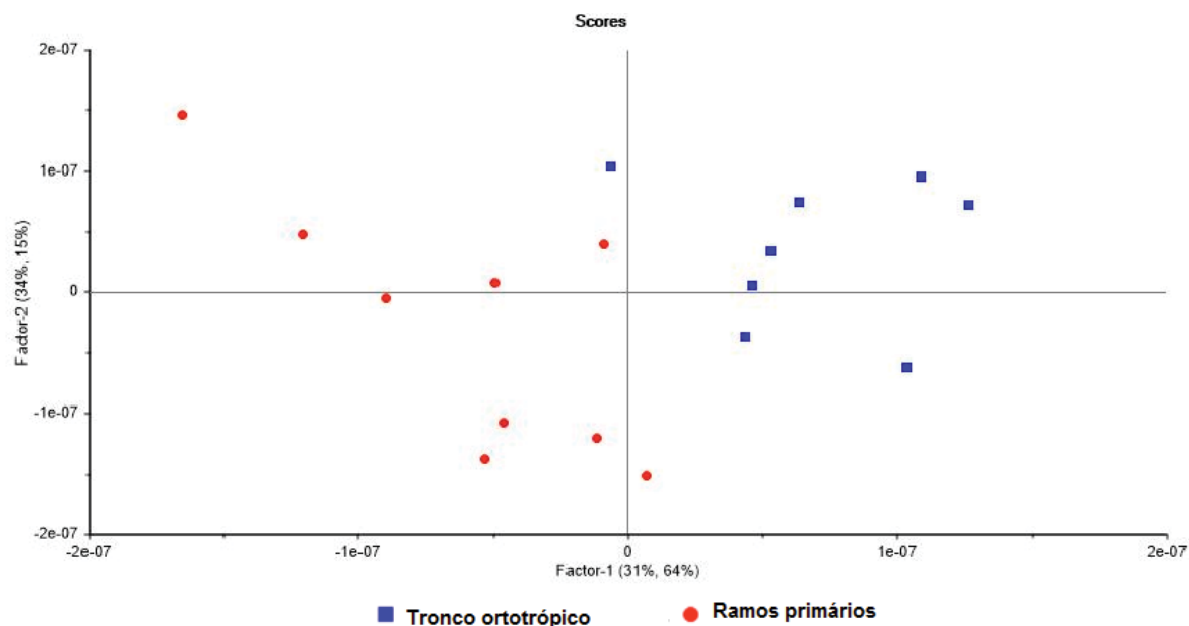


FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: Os pontos em vermelho correspondem às amostras de hábito de crescimento de ramos primários, enquanto os azuis ao tronco ortotrópico. Observa-se uma boa separação entre as amostras de genótipos diferentes.

Na análise de componentes principais (ACP), é possível verificar a separação entre os hábitos de crescimento para as amostras de genótipos diferentes (ramos primários e tronco ortotrópico), em ambos os equipamentos utilizados para a leitura das curvas espectrais do NIR (portátil e de bancada). A partir dos resultados, observou-se a eficiência dos dois equipamentos empregados para a análise NIR, já que foi possível constatar a distribuição dos pontos representativos aos genótipos através da análise ACP. Neste sentido, foi possível verificar a eficiência da ACP como uma ferramenta capaz de comprimir os dados e dar dimensionalidade na matriz de dados levantados pelos equipamentos de análise NIR, facilitando a visualização das bandas dos espectros de infravermelho que traduzem os hábitos de crescimento.

FIGURA 5.4 - IMAGEM COM OS ESCORES PARA OS COMPONENTES PRINCIPAIS 1 E 4, COLETADOS PELO NIR DE BANCADA



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: Os pontos em vermelho correspondem às amostras de hábito de crescimento de ramos primários, enquanto os azuis ao tronco ortotrópico. Observa-se uma boa separação entre as amostras de genótipos diferentes.

Observa-se, na Figura 5.4, uma boa separação dos escores correspondentes ao hábito de crescimento que estão relacionados ao tronco ortotrópico, onde é possível constatar seu agrupamento no quadrante, bem como dos escores relacionados ao hábito de crescimento dos ramos primários agrupados em outro quadrante adjacente. Pode-se inferir que esta diferenciação está relacionada às distintas bandas que os dois hábitos de crescimento representam em seu espectro de infravermelho obtido na análise NIR.

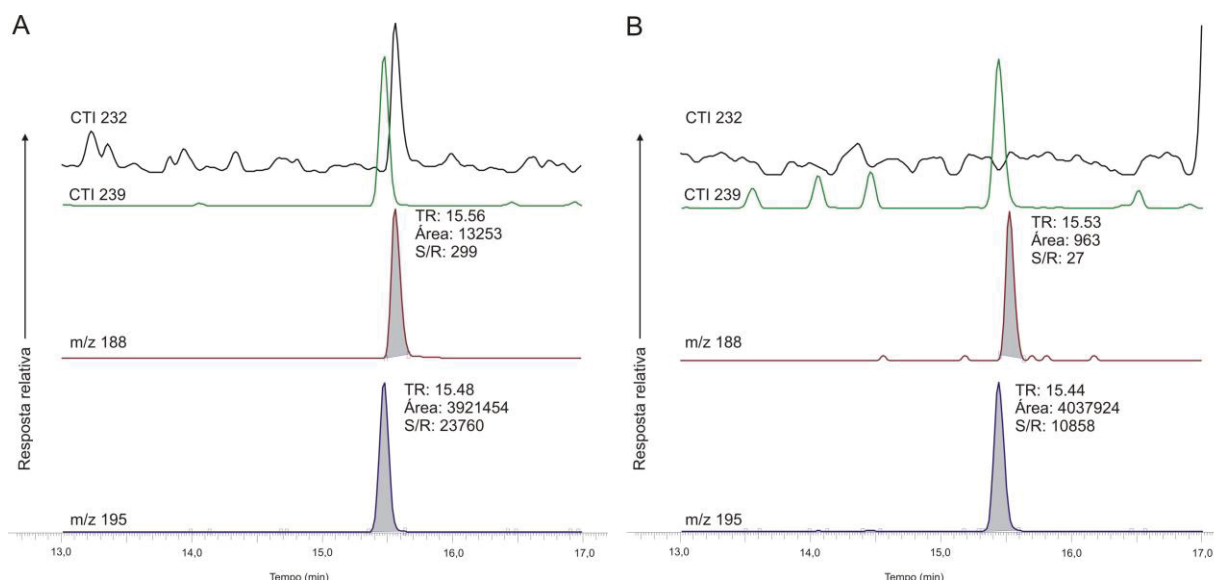
Pode-se considerar satisfatório o resultado da aplicação do modelo matemático, pois foi capaz de interpretar dados espectroscópicos obtidos a partir da espectroscopia de absorção na região do infravermelho próximo e demonstrar de forma objetiva a separação de hábitos de crescimento de araucária.

5.3.2 Análise hormonal

A metodologia utilizada por meio da análise em cromatógrafo gasoso-espectrometria de massa (GC-MS) para detecção de IAA em acículas de araucária foi considerada eficiente, mesmo quando as amostras apresentavam baixa

quantidade de IAA livre (FIGURA 5.5). Veierskov et al. (2007), ao avaliarem a concentração de IAA livre em ramos plagiotrópicos de *Abies nordmanniana*, divididos longitudinalmente em quatro seções, verificaram uma concentração de cerca de 375 pmol g⁻¹ nas seções dorsal e ventral dos ramos, e uma concentração significativamente maior (554 pmol g⁻¹) nas seções laterais (esquerdo e direito) dos ramos. Estes autores concluíram que não existe um único mecanismo para a dominância apical e o hábito de crescimento plagiotrópico é possivelmente regulado dentro do próprio ramo.

FIGURA 5.5 - CROMATOGRAMAS PARCIAIS DAS CORRENTES TOTAIS DE ÍONS (CTI) DOS ÍONS PAIS 232 (IAA) E 239 (IAA-D7), ÁREA DOS FRAGMENTOS DE MASSA (RAZÃO MASSA CARGA, M/Z) UTILIZADAS NA QUANTIFICAÇÃO DO IAA, M/Z 188 REFERENTE AO COMPOSTO IAA E M/Z 239 PADRÃO INTERNO IAA-D7



FONTE: A autora (2018).

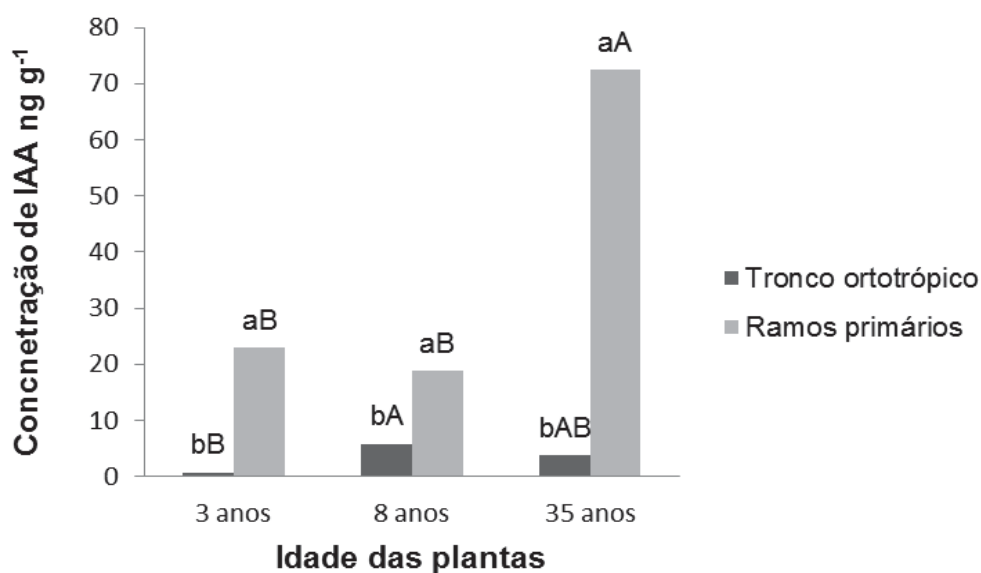
LEGENDA: A - amostra com quantidades significativas de IAA, B - amostra com pequenas quantidades de IAA. Linha verde – padrão interno, linha preta IAA. RT - tempo de retenção, SN – sinal ruído acima de 10.

Ao avaliar genótipos diferentes foi possível detectar que a concentração de IAA livre nas acículas de araucária varia com a idade. Observou-se uma menor concentração de IAA livre em acículas do tronco ortotrópico em todas as idades avaliadas, com a maior concentração nos ramos primários em matrizes de 35 anos (FIGURA 5.6).

A maior concentração de IAA livre nas acículas dos ramos primários em árvores de 35 anos pode estar relacionada com seu aspecto morfogênico, uma vez que, seu tronco possui crescimento longitudinal finito e crescimento radial ilimitado

(ZANETTE et al., 2017), indicando que, nessa idade, as matrizes podem estar investindo no crescimento plagiotrópico favorável à reprodução sexuada. Corroborando com essa hipótese, Rasmussen (2009), ao avaliar a propagação vegetativa de brotações de *Abies nordmanniana*, provenientes de cortes de ramo secundário obtiveram mudas com 96% de hábito de crescimento plagiotrópico. Já as de origem ortotrópica obtiveram cerca de 42% ortotrópico, sendo que os resultados da avaliação hormonal de brotações de mudas demonstraram que as de origem ortotrópicas tiveram uma proporção de citocinina/auxina relativamente baixa em relação às plagiotrópicas.

FIGURA 5.6 - CONCENTRAÇÃO DE IAA LIVRE EM ACÍCULAS DE ARAUCÁRIA EM FUNÇÃO DA IDADE DA PLANTA EM RAMOS PRIMÁRIOS E TRONCO ORTOTRÓPICO



FONTE: A autora (2017).

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da idade e maiúscula entre as idades não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Foi encontrada uma maior concentração de IAA livre nos ramos primários comparados ao tronco ortotrópico, para todas as idades avaliadas. Com uma maior concentração nos ramos primários de árvores de 35 anos quando comparado às demais idades. Embora não existam estudos que comprovem o maior crescimento dos ramos primários, observações de campo indicam este comportamento em plantas de araucária.

5.4 CONCLUSÕES

A técnica de NIR, avaliada pelo aparelho portátil e de bancada, acoplada com a quimiometria pode ser usada para distinguir os ramos primários de tronco ortotrópico.

A concentração de IAA livre nas acículas de araucária varia com a idade, sendo maior nos ramos primários, podendo ser utilizado para predição do hábito de crescimento.

REFERÊNCIAS

- IRITANI, C.; ZANETTE, F.; CISLINSKI, J. Aspectos anatômicos da cultura *in vitro* da *Araucaria angustifolia*. I. Organização e desenvolvimento dos meristemas axilares ortotrópicos de segmentos caulinares. **Acta Biologica Paranaense**, Curitiba, v.21, n.1, 2, 3, 4, p.57-76, 1992.
- KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. Handbuch der Klimatologie, Bd. 1, Teil C. Berlin, 1936. 44 p.
- NIKLES, D.G. *A. cunninghamii* “bark-patch” grafting in the field. **Australian Forest Research**, v.1, n.1, p.45-47, 1964.
- OLIVEIRA, L. S. **Enxertia, microenxertia e descrição do tropismo em *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. Ktze**. 2010. 90 f. Tese (Doutorado Ciências) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.
- RASMUSSEN, H. N.; VEIERSKOV, B.; HANSEN-MØLLER J.; NØRBÆK, R.; NIELSEN, U. B. Cytokinin profiles in the conifer tree *Abies nordmanniana*: Root-shoot relations in a year-round perspective. **Journal of Plant Growth Regulation**. v. 28, p. 154-166, 2009.
- ROYCHOUDHRY, S.; BIANCO, M. DEL, KIEFFER, M.; KEPINSKI, S. Auxin controls gravitropic setpoint angle in higher plant lateral branches. **Current Biology**, v. 23, p. 1497-1504, 2013. DOI 2013.06.034
- SALISBURY, F. B.; ROOS, C.W. **Plant Physiology**. Wadsworth, California: 1991. cap.17, p. 357-378.
- SANTOS, G. A.; SANTOS, A. P. dos; KORNDÖRFER, G. H. Sistema por infravermelho próximo (NIR) para análises de nitrogênio foliar. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 83-90, 2012.
- VEIERSKOV, B.; RASMUSSEN, H. N.; ERIKSEN, B.; HANSEN-MØLLER, J. Plagiotropism and auxin in *Abies nordmanniana*. **Tree Physiology**, v. 27, p. 149-153, 2007.
- WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; HOFFMANN, H. A.; BETTIO, G.; HANSEL, F.. Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. **Agronomía Costarricense**, v. 33, n. 2, p. 309-319, 2009. ISSN:0377-9424 / 2009. Nota técnica.
- ZANETTI, F.; DANNER, M. A.; CONSTANTINO, V.; WENDLING, I. Particularidades, biologia reprodutiva e hábitos de crescimento em plantas de *Araucaria angustifolia*. In: Wendling, I. e Zanette, F. (Ed.). **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília, DF: Embrapa, 2017, p. 15-42.
- YAMAGUCHI, L.F.; KATO, M.J. Diurnal and seasonal changes in biflavonoids biosynthesis in *Araucaria angustifolia* needles. **Global Journal of Biochemistry**, n. 3, p. 1-7, 2012.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições em que foram desenvolvidos os experimentos com *A. angustifolia*, é possível ter as seguintes considerações:

A enxertia de copa, em plantas adultas de araucária, pode ser inédita. Não sendo encontrados relatos na literatura que indiquem metodologias adequadas para sua execução. De maneira geral, os resultados apresentados neste estudo demonstram a importância da utilização de materiais adequados para o efetivo sucesso da enxertia de copa da espécie, principalmente no que diz respeito ao seu vigor e juvenilidade. Além disso, fica evidente a viabilidade da técnica de enxertia de copa para esta espécie, levantando-se a hipótese de obtenção de melhores índices de sobrevivência a partir da utilização de ramos primários de porta-enxertos mais jovens.

A espectroscopia NIR, em associação com ferramentas quimiométricas, apresenta-se como técnica promissora para a predição de hábito de crescimento de araucária, embora necessite ser aprimorada para obtenção de modelos mais precisos. Os hábitos de crescimento em araucária podem ser preditos com o NIR e a concentração de IAA. Ressalta-se a importância da realização de novas pesquisas, as quais devem ser realizadas com quantidade maior de amostras para obter uma padronização mais efetiva e melhorar as curvas de calibração obtidas com o NIR e posterior análise por PCA.

REFERÊNCIAS

- ALMQVIST, C. Survival and strobili production in topgrafted scions from young *Pinus sylvestris* seedlings. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 28, n. 6, p. 533-539, 2013a. DOI: 10.1080/02827581.2013.803598
- ALMQVIST, C. Interstock effects on topgraft vitality and strobili production after topgrafting in *Pinus sylvestris*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 43, n. 6, p. 584-588, 2013b. DOI: 10.1139/cjfr-2012-0507
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília: ABRAF. 2013. 148 p.
- BOND, B. J. et al. Developmental decline in height growth in Douglas-fir. **Tree Physiology**, v. 27, n. 3, p. 441-453, 2007. DOI: 10.1093/treephys/27.3.441
- BRANDELERO, C. **Espectrorradiometria do visível e infravermelho próximo em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 2010, 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.
- CAPELLA, A. C. V.; PENTEADO, P. T. P. S.; BALBI, M. E. Semente de *Araucaria angustifolia*: aspectos morfológicos e composição química da farinha. **B. CEPPA**, v. 27, n. 1, p. 135-142. 2009.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: **Informação Tecnológica**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. p. 801-812.
- CONSTANTINO, V.; ZANETTE, F. Produção de borbulhas ortotrópicas para enxertia de *Araucaria angustifolia*. **Acta Biológica Paranaense**, v. 44, p. 1-4, 2015.
- COSTA, F. J. O. G. da. et al. Characterisation of native starches of seeds of *Araucaria angustifolia* from four germplasm collections. **Thermochimica Acta**. v. 565, p. 172-177, 2013. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2013.04.030> >. Acesso em: 18 fev. 2018.
- DANNER, M. A.; ZANETTE, F.; RIBEIRO, J. Z. Plantation of Brazilian pine for nuts production as a conservation tool. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v. 32, p. 441-451, 2012. DOI: 10.4336/2012.pfb.32.72.441.
- DIAS, P. et al. Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 453-462, 2012. DOI: 10.4336/2012.pfb.32.72.453.
- FARIAS-SOARES, F. L. et al. The transitions of proembryogenic masses to somatic embryos in *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze is related to the endogenous contents of IAA, ABA and polyamines. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, n. 7, p. 1853-65. 2014.

FERRARI, M. P.; GROSSI, F.; WENDLING, I. **Propagação vegetativa de espécies florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 22p.

FIGUEIREDO FILHO, A. et al. Produção de sementes de *Araucaria angustifolia* em plantio e em floresta natural no centro-sul do estado do Paraná. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 41, n. 1, p. 153-160, jan./mar. 2011.

FIGUEIREDO, D.D. et al. Auxin production couples endosperm development to fertilization. **Nat. Plants**, v. 1, p.15184. 2015. DOI: 10.1038/nplants.2015.184

FRANCO, A. C. et al. Plant hormones and plant growth regulator in plant tissue culture. **In Vitro Cellular Development Biology–Plant**, v.32, p.272-289, 1996.

GASPAR, T. et al. Plant hormones and plant growth regulator in plant tissue culture. **In Vitro Cellular Development Biology–Plant**, v. 32, p. 272-289, 1996.

GONÇALVES, P. M. et al. Characterization of starch nanoparticles obtained from *Araucaria angustifolia* seeds by acid hydrolysis and ultrasound. **Food science & technology**, v. 58, n. 1, p. 21-27, 2014. DOI:10.1016/j.lwt.2014.03.015.

GREENWOOD, M. S.; DAY, M. E.; SCHATZ, J. Separating the effects of tree size and meristem maturation on shoot development of grafted scions of red spruce (*Picea rubens*). **Tree Physiology**, v. 30, p. 459-468, 2010. DOI: 10.1007/s00468-013-0911-z

HACKETT, W. P. Juvenility, maturation and rejuvenation in woody plants. **Horticultural Reviews**, New York, v. 7, p. 109-155, 1985.

HARTMANN, H.T. et al. **Plant propagation: principles and practices**. 8 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2011. 915 p.

HEIN, P. R. G. et al. Near infrared spectroscopy for estimating wood basic density in *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, v.15, n.2, p.133-141, 2009.

HEIN, P. R. G.; CHAIX, G.; LIMA, J. T. Effects of sample preparation on NIR spectroscopic estimation of chemical properties of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 64, p. 45-54, 2010.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2017**. Brasília: IBÁ, 2017. 79 p. Relatório da Indústria Brasileira de Árvores. Disponível em: <<http://www.iba.org/pt/biblioteca-iba/publicacoes>>. Acesso em: 22 set. 2017.

INOUE, M. T.; PUTTON, V. Macropropagação de 12 espécies arbóreas da floresta ombrófila mista. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 37, n. 1, p. 55-61, jan./abr. 2007.

JAYAWICKRAMA, K. J. S.; JETT, J. B.; MCKEAND, S. E. Rootstock effects in grafted conifers: **A review**. **New Forest**, V. 5, p. 157-173. 1991. DOI: 10.1007/BF00029306.

JOHKAN, M. et al. Causes of defoliation and low survival rate of grafted sweet pepper plants. **Scientia Horticulturae**, v.119, p. 103-107, 2009. DOI: 10.1016/j.scienta.2008.07.015

KRAMER, E.M.; ACKELSBERG, E.M. Auxin metabolism rates and implications for plant development. **Front. Plant Sci.** v. 6, p. 150. 2015.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. Handbuch der Klimatologie, Bd. 1, Teil C. Berlin, 1936. 44 p.

KORASICK, D.A.; ENDERS, T.A.; STRADER, L.C. Auxin biosynthesis and storage forms. **J. Exp. Bot.** v. 64, p. 2541-2555. 2013.

KOTZ, T. E. et al. Enxertia em figueira 'Roxo de Valinhos' por borbulhia e garfagem. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 344-348, 2011.

KUHN, S. A.; MARIATH, J. E. A. Reproductive biology of the "Brazilian pine" (*Araucaria angustifolia* - Araucariaceae): Development of microspores and microgametophytes. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, v. 5-6, n. 209, p. 290-299, 2014. DOI:10.1016/j.flora.2014.02.009.

LEE, Y., CHUNG, H., ARNOLD, M.A. Improving the robustness of a partial least squares (PLS) model based on pure component selectivity analysis and range optimization: Case study for the analysis of an etching solution containing hydrogen peroxide. **Analytica Chimica Acta**, v. 572, n.1, p. 93-101. 2006.

LOTT, L. H. et al. Topgrafting Longleaf x Slash pine F1 Hybrids on Mature Longleaf and Slash pine Interstocks. *Proc. 27th Southern Forest Tree Improvement Conf.*, Stillwater, OK., v.24-27, jun. 2003. p. 96-101.

LUDWIG-MÜLLER, J. Auxin conjugates: Their role for plant development and in the evolution of land plants. **J. Exp. Bot.** v. 62, p. 1757-1773. 2011.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 4. ed. Ponta Grossa: UEPG, 2012. 526 p.

MARTÍNEZ-BALLESTA, M. C. et al. Physiological aspects of rootstock-scion interactions. **Scientia Horticulturae**, v.127, n. 2, p. 112-118. 2010.

MENCUCCINI, M. et al. Evidence for age-and size-mediated controls of tree growth from grafting studies. **Tree Physiology**, v. 3, n. 27, p. 463-473, 2007.

NAZARENO, A. G.; REIS, M. S. At Risk of Population Decline An Ecological and Genetic Approach to the Threatened Palm Species (Arecaceae) of Southern Brazil. **Journal Of Heredity**, v.1, n. 105, p. 120-129, 2014. DOI: 10.1093/jhered/est065.

NIKLES, D.G. *A. cunninghamii* "bark-patch" grafting in the field. **Australian Forest Research**, v.1, n.1, p.45-47, 1964.

OLIVEIRA, L. S. **Enxertia, microenxertia e descrição do tropismo em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 2010. 90 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 198-219, 2003.

PEREZ, A. M. M. et al. Graft survival and promotion of female and male strobili by topgrafting in a third-cycle slash pine (*Pinus elliottii* var. *elliottii*) breeding program. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 37, p. 1244-1252, 2007. DOI: 10.1139/X07-004

PIRES, P. P. **Sazonalidade e soluções nutritivas na miniestaquia de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE. em propágulos de origem seminal.** 2012. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

POP, T.I.; PAMFIL, D.; BELLINI, C. Auxin control in the formation of adventitious roots. **Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.** v. 39, p. 307-316. 2011.

RASMUSSEN, H. N. et al. Cytokinin profiles in the conifer tree *Abies nordmanniana*: Root-shoot relations in a year-round perspective. **Journal of Plant Growth Regulation**. v. 28, p. 154-166, 2009.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Araucariaceae.** Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 29 p.

RENNENBERG, H. et al. In situ measurements of carbon and nitrogen distribution and composition, photochemical efficiency and stable isotope ratios in *Araucaria angustifolia*. **Trees – Structure and Function**, v. 19, n. 4, p.422-430, 2005.

RONCATTO, G. et al. Pegamento da enxertia em diferentes combinações de variedades e espécies utilizadas como copa e como porta-enxertos de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 948-953, 2011.

ROYCHOUDHRY, S. et al. Auxin controls gravitropic setpoint angle in higher plant lateral branches. **Current Biology**, v. 23, p. 1497-1504, 2013. DOI 2013.06.034

SALISBURY, F. B.; ROOS, C.W. **Plant Physiology.** Wadsworth, California: 1991. cap.17, p. 357-378.

SALISBURY, F. B.; ROSS, CLEON, W. **Fisiologia de plantas.** 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 776 p.

SANTOS, G. A.; SANTOS, A. P. dos; KORNDÖRFER, G. H. Sistema por infravermelho próximo (NIR) para análises de nitrogênio foliar. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 83-90, 2012.

SCHIMLECK, L. R.; EVANS, R. Estimation of *Pinus radiata* D. don tracheid morphological characteristics by near infrared spectroscopy. **Holzforschung**, Berlin, v. 58, p. 66-73, 2004.

STUEPP, C. A. ***Piptocarpha angustifolia* Dusén ex Malme: avaliação da qualidade de mudas e análise silvicultural**. 2017. 172 f. Tese. (Doutorado em Produção Vegetal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SUITER FILHO, W.. Influência da posição do ramo da copa na enxertia de *Pinus elliottii* ENGEL. e *Pinus taeda* L.. **IPEF** n.1, p.121-124, 1970.

TAIZ, L.; ZEIGER E. Auxinas. In: **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Editora Artmed: Porto Alegre, 2013, 918 p.

TANAKA, K. et al. pathway in Arabidosis. **Plant & cell physiology**, v. 55, n.1, p. 218-28, 2014.

THOMAS, P. *Araucaria angustifolia*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2013**: e.T32975A2829141. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T32975A2829141.en>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

TORMEN, G. P. **Caracterização do teor de nitrogênio foliar e produtividade do feijoeiro com técnicas de visão artificial**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2008.

VALOIS, A. C. C. Os efeitos ortotrópicos e plagiotrópicos em plantas. In: PROCITROPICOS - Programa Cooperativo de Investigación e Innovación Agrícola para los Trópicos Suramericanos. Categoría: **Procitropicos Informa**. Publicado por Monica em 07/1/2015. Disponível em: <<http://www.procitropicos.org.br/portal/conteudo/item.php?itemid=3120>>. Acesso em: 10/02/2017.

VALOIS, A. C. C.. *Tropismo y nastismos en plantas*. In: PROCITROPICOS - Programa Cooperativo de Investigación e Innovación Agrícola para los Trópicos Suramericanos. Categoría: **Procitropicos Informa**. Publicado por Monica em 21/3/2011. Disponível em: <<http://www.procitropicos.org.br/portal/conteudo/makepdf.php?itemid=1584>>. Acesso em: 10/02/2017.

VEIERSKOV, B. et al. Plagiotropism and auxin in *Abies nordmanniana*. **Tree Physiology**, v 27, p. 149-153, 2007.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. 123p.

WENDLING, I. **Propagação vegetativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire): estado da Arte e Tendências Futuras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 45p.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; HOFFMANN, H. A.; BETTIO, G.; HANSEL, F. Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. Nota Técnica. **Agronomía Costarricense**, v. 2, n. 33, p. 309-319, 2009.

WENDLING, I. **Enxertia e florescimento precoce em *Araucaria angustifolia***. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 7p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 272).

WENDLING, I. (a) **Estaquia e miniestaquia de *Araucaria angustifolia* para produção de madeira**. Embrapa Florestas, 2015a. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 272, 9 p.). Colombo, PR.

WENDLING, I. (b) **Tecnologia de enxertia de *Araucaria angustifolia* para produção precoce de pinhões, com plantas de porte reduzido**. Embrapa Florestas, 2015b. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 351, 7 p.). Colombo, PR. Maio, 2015.

WENDLING, I. **Propagação vegetativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire): estado da Arte e Tendências Futuras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 45p.

WENDLING, I. et al. Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. Nota Técnica. **Agronomía Costarricense**, v. 2, n. 33, p. 309-319, 2009.

WENDLING, I.; STUEPP, C. A.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. *Araucaria angustifolia* grafting: techniques, environments and origin of propagation material. **Bosque**, v. 37, n. 2, p. 285-293, 2016.

WENDLING, I.; TRUEMAN, S. J.; XAVIER, A. Maturation and related aspects in clonal forestry-Part I: concepts, regulation and consequences of phase change. **New Forests**, v. 4, n. 45, p. 449-471, 2014. DOI: 10.1007/s11056-014-9421-0

WENDLING, I. et al. Produção de mudas de araucária por enxertia. In: WENDLING, I.; ZANETTE, F. **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília (DF): Embrapa, 2017. 159 p.

WILLIAMS, P.; NORRIS, K. **Near-infrared technology**. 2nd ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, 2001. 296 p.

WORKMAN, J.; WEYWER, L. **Practical guide to interpretive near-infrared spectroscopy**. Boca Raton: CRC Press, 2007. 332 p.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. da. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. 2. ed. Viçosa (MG): UFV, 2013. 279 p.

YAMAGUCHI, L.F.; KATO, M.J. Diurnal and seasonal changes in biflavonoids biosynthesis in *Araucaria angustifolia* needles. **Global Journal of Biochemistry**, n. 3, p. 1-7, 2012.

YIN, H. et al. Graft-union development: a delicate process that involves cell–cell communication between scion and stock for local auxin accumulation. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, p. 4219-4232, 2012. DOI: 10.1093/jxb/ers109.

ZANETTE, F. et al. Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia*. In: WENDLING, I.; ZANETTE, F. **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília (DF): Embrapa, 2017. 159 p.

ZANETTE, F.; OLIVEIRA, L. S.; BIASI, L. A. Grafting of *Araucaria angustifolia* through the four seasons of the year. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1364-1370, 2011.

ZANETTI, F. et al. Particularidades, biologia reprodutiva e hábitos de crescimento em plantas de *Araucaria angustifolia*. In: Wendling, I. e Zanette, F. (Ed.). **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília (DF): Embrapa, 2017, p. 15-42.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: North Carolina State University, 1984. 505 p.

APÊNCICE 1 - TEMPERATURA MÉDIA (C) DE CURITIBA, ESTAÇÃO: LATITUDE: 25,26 - LONGITUDE: 49,16 CURITIBA - (SIMEPAR), DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2015	-	-	-	18,1	15,5	14,4	14,5	17,2	17,9	17,8	18,5	21,1
2016	20,8	21,8	20,2	20,8	14,5	11,3	13,7	14,2	15,0	16,4	17,9	20,4
2017	21,4	22,3	19,4	17,2	16,2	14,4	-	-	-	-	-	-

FONTE: SIMEPAR (2018).

**APÊNCICE 2 - PRECIPITAÇÃO ACUMULADA MENSAL (MM), ESTAÇÃO:
LATITUDE: 25,26 – LONGITUDE: 49,16 – CURITIBA (SIMEPAR), DURANTE O
PERÍODO EXPERIMENTAL.**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2015	-	-	-	52,8	119,2	82,8	188,8	25,4	153,0	248,2	234,0	256,4
2016	170,6	299,6	91,0	133,6	152,8	123,2	110,8	174,8	83,6	160,4	101,8	80,0
2017	198,6	84,6	44,4	73,4	117,0	172,2	-	-	-	-	-	-

FONTE: SIMEPAR (2018).