

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS DOIS VIZINHOS**

MATEUS ROSANTE GRISANG

**AVALIAÇÃO DO CARBONO FIXADO E INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS NO CRESCIMENTO DE *Araucaria angustifolia* (Bertol) O.
Kuntz EM UM PLANTIO FLORESTAL NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ**

DOIS VIZINHOS – PR

2023

MATEUS ROSANTE GRISANG

**AVALIAÇÃO DO CARBONO FIXADO E INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS NO CRESCIMENTO DE *Araucaria angustifolia* (Bertol) O.
Kuntz EM UM PLANTIO FLORESTAL NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ**

**EVALUATION OF FIXED CARBON AND INFLUENCE OF METEOROLOGICAL
VARIABLES ON THE GROWTH OF *Araucaria angustifolia* (Bertol) O. Kuntz IN A
FOREST PLANTATION IN THE SOUTHWEST REGION OF PARANÁ**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Prof. Dra. Veridiana Padoin Weber.
Coorientadora: Prof. Dra. Elisabete Vuaden

DOIS VIZINHOS – PR

2023



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MATEUS ROSANTE GRISANG

**AVALIAÇÃO DO CARBONO FIXADO E INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS
METEOROLÓGICAS NO CRESCIMENTO DE *Araucaria angustifolia* (Bertol) O.
Kuntz EM UM PLANTIO FLORESTAL NA REGIÃO SUDOESTE DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 21 de novembro de 2023

Veridiana Padoin Weber
Doutorado em Engenharia Florestal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos.

Cláudio Thomas
Doutorado em Engenharia Florestal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos.

Maurício Romero Gorenstein
Doutorado em Recursos Florestais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos.

DOIS VIZINHOS

2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por permitir esta conquista.

Agradeço a toda minha família, principalmente a minha mãe Edivani Rosante da Silva Grisang e meu Pai Jeferson André Grisang, pelo seu incentivo e apoio incondicional que sempre me proporcionaram.

A minha irmã Julia Rosante Grisang por todo o carinho, apoio e incentivo que a sua maneira me foi dado.

Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado, agradeço pelas conversas, aprendizados e momentos de descontração quais vocês me proporcionaram.

A minha orientadora Prof. Dra. Veridiana Padoin Weber, agradeço por todo o tempo que utilizou me orientando, pelo apoio, dedicação e por todo aprendizado que me proporcionou.

A Prof. Dra. Elisabete Vuaden, agradeço as considerações e aprendizado que me proporcionou como coorientadora deste trabalho.

Aos antigos alunos Íris Cristina Bertolini, Anderson Luiz P. de Lima, Paulo Henrique Jung (*in memorian*) e Sandra Mara Krefta, pela coleta a campo dos dados do presente trabalho.

Certamente não consegui nomear todos aqueles que fizeram parte dessa importante etapa da minha vida, mas quero que saibam que estendo os agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma fizeram parte desse momento, então muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho objetiva avaliar, o incremento diamétrico, a influência de variáveis meteorológicas e a capacidade de armazenamento anual de carbono pela parte aérea de indivíduos plantados de *Araucaria angustifolia*, no município de Dois Vizinhos – PR. Identificou-se uma idade máxima de 42 anos para os indivíduos amostrados, através da análise dos anéis de crescimento obteve-se os valores de IMA e ICA diamétrico, sendo o ICA máximo encontrado de 3,2 cm/ano e o IMA máximo de 1,62 cm/ano. Os valores de ICA e IMA encontrados juntamente com a média do DAP, foram submetidos a análise de correlação de Pearson, sendo relacionados as variáveis climáticas, Temperatura (°C), Umidade Relativa (%), Radiação (kJ/m²) e Precipitação (mm), onde identificamos correlação positiva do ICA para a variável radiação e apresentou correlação negativa para as variáveis umidade relativa e precipitação, já o IMA não foram identificadas correlações positivas. A análise de absorção de carbono pela parte aérea, apontou um valor de 0,0046 (tCO₂e/ano) por indivíduo, trazendo um valor de 2,73 (tCO₂e/ha.ano⁻¹), com o período de maior absorção de carbono ocorrendo aos 30 anos de idade do plantio.

Palavras-chave: *Araucaria angustifolia*; Incremento; Carbono; Dedrocronologia.

ABSTRACT

The present work aims to evaluate the diameter increase, the influence of meteorological variables and the annual carbon storage capacity of the aerial part of individuals planted with *Araucaria angustifolia*, in the municipality of Dois Vizinhos – PR. The maximum age of 42 years was identified for the individuals sampled, through the analysis of growth rings, IMA and diametric ICA values were obtained, with the maximum ICA found to be 3.2 cm/year and the maximum IMA of 1.62 cm/year. The ICA and IMA values found together with the average DAP were subjected to Pearson's correlation analysis, being related to the climatic variables, Temperature (°C), Relative Humidity (%), Radiation (kJ/m²) and Precipitation (mm), where we identified a positive correlation between the ICA for the radiation variable and a negative correlation for the relative humidity and precipitation variables, while the IMA did not identify positive correlations. The analysis of carbon absorption by the aerial part showed a value of 0.0046 (tCO₂e/year) per individual, bringing a value of 2.73 (tCO₂e/ha.year⁻¹), with the period of greatest carbon absorption occurring at 30 years of planting age.

Keywords: *Araucaria angustifolia*; Increases; Carbon; Dendrochronology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1: ICA em diâmetro por idade para 28 indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> no Sudoeste do Paraná.	29
Gráfico 2: IMA em diâmetro por idade para 28 indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> no Sudoeste do Paraná.	30
Gráfico 3: Incremento diamétrico por idade em plantio de <i>Araucaria angustifolia</i> no sudoeste do Paraná.	30
Gráfico 4: Quantidade de Carbono fixado em um plantio de <i>Araucaria angustifolia</i> no Sudoeste do Paraná.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de análise de correlação de Pearson entre o diâmetro e as variáveis meteorológicas em plantio de <i>Araucaria angustifolia</i>, no Sudoeste do PR nos anos de 2008 a 2012.....	32
--	-----------

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Descrição da Espécie.....	15
3.2	Formação dos anéis de crescimento.....	16
3.3	Análise de tronco	17
3.4	Dendrocronologia.....	19
3.5	Influências climáticas no crescimento diamétrico	20
3.6	Sequestro de carbono.....	21
4	METODOLOGIA	23
4.1	Descrição da área de estudo	23
4.2	Mensuração das variáveis dendrométricas e de crescimento	23
4.3	Obtenção de dados meteorológicos.....	24
4.4	Obtenção de variáveis para cálculo de remoção do carbono	24
4.5	Processamento de dados	25
4.5.1	Incremento médio anual (IMA) e Incremento corrente anual (ICA)	25
4.5.2	Correlação entre o crescimento diamétrico com as variáveis climáticas	26
4.5.3	Métodos de cálculo da Remoção de Carbono.....	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1	Obtenção de idade e valores de IMA e ICA	29
5.2	Influência das variáveis meteorológicas no crescimento da espécie	31
5.3	Carbono Fixado	33
6	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	37
	ANEXO A -Matrizes individuais de análise de correlação de Pearson entre o diâmetro e as variáveis meteorológicas em plantio de <i>Araucaria angustifolia</i> no Sudoeste do Paraná nos anos de 2007 a 2012.	41

1 INTRODUÇÃO

Com a exploração desordenada das florestas nativas, criou-se uma carência delas, com isso fez – se necessário a implantação de indivíduos arbóreos. Esses plantios, por sua vez, em grande maioria foram realizados com espécies exóticas, que por apresentarem um ótimo crescimento e desenvolvimento, uma rotação mais curta, maior homogeneidade nos indivíduos e, por consequência, na madeira, vieram a se tornar a principal fonte madeireira do país. Com isso, os plantios silviculturais de espécies exóticas apresentaram um aumento exponencial, isso traz uma aposta dos produtores para com a quantidade de madeira produzida, deixando em segundo plano a qualidade desta. Dito isso, houve um aumento na valoração de indivíduos nativos que apresentem formação madeireira de alta qualidade, o que torna crucial estudos relacionados ao manejo dessas espécies (SCHEEREN et al., 2002).

A *Araucaria angustifolia* foi uma espécie muito afetada pela exploração desenfreada das florestas nativas, uma vez que essa se mostrou como um ponto muito forte de produção para a economia da região Sul do Brasil. A exploração dessa espécie foi tão predatória que atualmente se encontra na lista de espécies ameaçadas de extinção, onde o seu corte foi proibido quando são remanescentes das florestas nativas. Dito isso, se faz necessário conhecer o crescimento da espécie, e quais os fatores que o influenciam, além de mostrar a importância dos serviços ecossistêmicos a fim de proporcionar um manejo de forma adequada e segura.

Uma ferramenta de grande importância para o estudo do crescimento e desenvolvimento arbóreo é a dendrocronologia, uma vez que essa analisa o incremento e desenvolvimento dos anéis de crescimento no tempo. Através da dendrocronologia é possível conhecer e entender fatores que afetam e limitam o crescimento das árvores auxiliando o manejo sustentável da espécie (SPIEKER, 2002), seja esse manejo em florestas plantadas ou em florestas nativas.

Conhecer as espécies e seu desenvolvimento é de suma importância, pois permite a construção de estimativas de previsão da produção e do crescimento dos indivíduos arbóreos, o que proporciona também informações para que a espécie possa ter sua utilização de forma mais adequada, onde com conhecimento suficiente seja possível a execução de um manejo eficiente e seguro permitindo assim maior segurança de produção e retorno. Dessa forma, o presente trabalho objetiva quantificar, através da análise dendrocronologica de indivíduos de *Araucaria*

angustifolia, o carbono anual removido da atmosfera pela parte aérea dos indivíduos, além de proporcionar um maior conhecimento do desenvolvimento e crescimento dessa espécie, permitindo assim estimativas mais apuradas de produção da espécie e seu adequado manejo.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar, por meio dos anéis de crescimento, o incremento diamétrico juntamente com a capacidade de armazenamento anual de carbono da parte aérea e a influência dos fatores climáticos em uma floresta plantada de indivíduos de *Araucaria angustifolia* (Bertol) O. Kuntz no município de Dois Vizinhos, Paraná.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o incremento médio anual e incremento corrente anual em diâmetro pelos anéis de crescimento.
- Identificar quais fatores climáticos influenciam e limitam o desenvolvimento dos anéis de crescimento.
- Estimar a taxa de carbono anual armazenada no fuste do povoamento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Descrição da Espécie

A *Araucaria angustifolia* (Bertol) O. Kuntz popularmente conhecida como pinheiro do paraná, pinho e pinheiro brasileiro é um indivíduo de porte arbóreo pertencente à família *Araucariaceae*, os indivíduos dessa espécie são característicos da floresta ombrófila mista que popularmente é conhecida como floresta de araucária, a ocorrência dessa espécie ocorre nos estados do sul do Brasil em regiões acima de 500 metros de altitude, na região sudeste em altitudes superiores a 900 metros de altitude, no sul do estado de Minas Gerais e no estado de São Paulo (Lorenzi, 1992). Essa espécie apresenta como característica, a formação de um fuste colunar, podendo chegar a até 50 metros de altitude quando adulta, possuindo uma filotaxia alterna espiralada (EMBRAPA, 2013).

Soares (1979), considera o pinheiro do paraná como uma espécie série para seu estágio sucessional, diz também que os indivíduos série são aqueles que se mostram no intermédio de desenvolvimento da mudança dos indivíduos pioneiro para o clímax, onde seu desenvolvimento pode se mostrar muito longo uma vez que as florestas sofram qualquer intervenção ou distúrbio, prolongando a dominância desse estágio de sucessão.

De acordo com Soares (1979), essa espécie é o único indivíduo de conífera valiosa natural do país, seu alto potencial madeireiro levou a grande exploração da espécie durante a colonização da região sul do Brasil. No início de sua exploração era utilizada principalmente na construção de casas e fabricação de moveis (SOUSA et al., 2021).

Essa espécie apresenta uma madeira de média densidade com alta qualidade, que se mostrou com grande potencial econmico no país, de forma que já representou cerca de 92% da madeira exportada pelo Brasil (SOUSA et al., 2021). Sua alta valorização ocasionou uma exploração desenfreada que trouxe escassez de seus indivíduos naturais o que fez com que essa fosse classificada como espécie ameaçada de extinção (SOARES, 1979).

Santos et al., (2010) trazem que com as pesquisas e o desenvolvimento das áreas de produção madeireira, a araucária perdeu espaço para espécies exóticas como o *pinus ssp.*, uma vez que esses indivíduos apresentam uma madeira de qualidade semelhante, e um crescimento mais rápido que o pinheiro do paraná,

somando isso ao fato de a espécie ser considerada ameaçada de extinção, tivemos uma diminuição do seu uso no âmbito silvicultural.

3.2 Formação dos anéis de crescimento

Os anéis de crescimento têm sua formação no câmbio mais especificamente nas atividades que nele ocorrem, é no câmbio que temos a formação do lenho inicial que ocorre no período vegetativo, sendo esse mais recorrente na primavera, outra formação é a do lenho tardio, essa ocorre normalmente no período outonal, onde temos a atividade fisiológica reduzida, podendo ocasionar uma diferenciação de cores para os diferentes lenhos (BURGER, RICHTER, 1991).

Luz (2011), traz que em regiões temperadas a atividade cambial pode ser afetada e pode apresentar mudanças de acordo com a temperatura a qual o indivíduo está exposto sendo outro fator o fotoperíodo ao qual esse tem acesso, sendo assim a atividade cambial pode ser afetada por um desses fatores ou por ambos. Quando temperatura e fotoperíodo estão favoráveis temos um crescimento composto por células mais curtas, o que promove uma redução na sua densidade, já quando temos esses fatores desfavoráveis iniciasse o declínio da divisão e expansão das células cambiais, isso ocasiona redução no crescimento, porém promove um aumento de densidade na madeira, cada uma dessas situações forma células diferentes, os anéis de crescimento são nomeados e identificados através da alternância entre essas diferentes células (PLOMION, et al., 2001).

A formação dos anéis pode ou não ser visível uma vez que a transição dos lenhos nem sempre é bem definida, mas em sua grande maioria as espécies resinosas apresentam mudanças de lenho bem definidas e de fácil visualização (LUZ, 2011). Finger (1992) diz que quanto maior a variação ambiental entre as épocas de desenvolvimento dos lenhos mais evidente serão os anéis de crescimento da árvore.

A periodicidade envolvida na formação dos anéis de crescimento pode apresentar variações de acordo com a espécie, idade do indivíduo, e com as condições ao qual está exposto, mas de forma geral os indivíduos arbóreos de clima temperado apresentam a formação de lenho inicial e tardio no decorrer de um ano, porém existem suas exceções, normalmente tais exceções estão relacionadas ao ambiente sobre qual o indivíduo se desenvolve (LUZ, 2011).

Em alguns casos é possível identificar anéis que não estão presentes em toda a circunferência do tronco, essa ocorrência proporciona o desenvolvimento de um anel

falso na árvore. Isso ocorre quando no período vegetativo temos a ocorrência ou formação de mais um anel de crescimento, tal ocorrência pode surgir quando temos épocas com altos índices pluviométricos, ocorrência de inundações e no caso de o indivíduo entrar em período de dormência (BOTOSSO; MATTOS, 2002). De acordo com Finger (1992), podemos ter também o crescimento de dois anéis quando o indivíduo está sujeito a uma variação ambiental limitante, esse desenvolvimento de dois anéis ocorre pela paralisação do desenvolvimento vegetativo da árvore ocasionado pelo estresse fisiológico causado a mesma.

3.3 Análise de tronco

De acordo com Imanhã (2005), a análise de tronco ou fuste, pode ser feita de duas formas, sendo essas a análise parcial e análise completa. Para ambas as formas são feitas medições de forma a obter através das análises de anéis de crescimento informações de desenvolvimento e crescimento dos indivíduos e posteriormente populações.

A avaliação de tronco é um método muito bem-visto uma vez que pode ser utilizado em qualquer época, apenas apresentando problemas ou maiores dificuldades de utilização para indivíduos que não apresentem fácil distinção dos anéis de crescimento, uma vez que suas avaliações consistem nas medições dos mesmos, espécies que apresentem distinções mais sutis são mais difíceis de serem analisadas, dessa forma recomenda-se sua utilização em espécies que apresentem boa distinção ou visibilidade para com seus anéis de crescimento (IMANHÃ, 2005).

A análise completa do tronco é um método destrutivo uma vez que esse consiste na avaliação dos discos da árvore em diferentes alturas, o que torna necessário o corte e seccionamento do indivíduo, através desse método podemos ter uma análise completa do desenvolvimento, crescimento e comportamento do indivíduo ao longo dos anos, proporcionando fácil identificação de falsos anéis que podem estar formados no fuste, além de trazer valores mais precisos em relação ao incremento anual do indivíduo analisado (PALERMO et al., 2012). Por esse método trazer a necessidade do abate da árvore se faz importante selecionar de forma adequada os indivíduos para a amostragem, de acordo com Imanhã (2005), para uma amostra mais válida deve-se selecionar os indivíduos que apresentam área basal média do povoamento uma vez que esse proporciona dados mais representativos para as estimativas do povoamento, outro ponto importante é o seccionamento dos

indivíduos onde esse deve seguir uma padronização de alturas a serem seccionadas e analisadas em todos os indivíduos, Imanhã (2005), traz que como padronização recomenda-se utilização dos mesmos parâmetros executados na cubagem rigorosa ou seja deve-se coletar discos nas alturas 0,50 ou 0,70 , 1,0 e a 1,30 posteriormente a essa altura deve ser obtido um discos a cada um metro ou a cada dois metros.

Essa forma de análise traz grande precisão, porém quando consideramos o tempo necessário para obtenção dos discos, esses devem ser cortados, seccionados, secos, marcados, algumas vezes necessitam de lixamento para melhor identificação dos anéis e posteriormente fazer as medições, tal método se mostra mais situacional (FIGUEIREDO, 2017).

A análise parcial de tronco surgiu como forma alternativa de análise uma vez que essa não necessita do abate da árvore, conseguimos obtenção de dados de qualquer indivíduo arbóreo com maior facilidade e agilidade a campo (PALERMO et al., 2012), sua maior restrição é para indivíduos que apresentam alto grau de dureza em seu lenho o que pode impedir o trado de adentrar o lenho e posteriormente obter uma amostra (IMANHÃ, 2005). Esse método utiliza normalmente o aparelho nomeado Trado de Pressler, esse aparelho teve origem na Suécia, onde esse consiste de três partes sendo essas o trado propriamente dito o suporte tubular cilíndrico e a colher-estilete, esse instrumento permite a extração de amostras cilíndricas do lenho da árvore, onde com essa amostra se faz possível a identificação medição análise e contagem dos anéis de crescimento do indivíduo, sendo essa amostra denominada como rolo de incremento ou verruma.

Apesar do método de análise parcial ser mais prático, se faz necessário a obtenção de um maior número de amostras uma vez que a verruma apenas proporcione uma estimativa dos anéis, outro ponto importante que alguns autores apontam é que para dados com maior validação se faz necessário a retirada de duas amostras por indivíduo, Prodan (1995), traz que a retirada dessas amostras devem apresentar um ângulo de 90° entre as mesmas, outro ponto importante é a padronização da altura de retirada da verruma, sendo essa como uma padronização internacional temos que a mesma deve ser feita no Diâmetro a Altura do Peito (DAP), que no Brasil é representado pelo 1,30 metros de altura (IMANHÃ, 2005).

3.4 Dendrocronologia

De acordo com Gonçalves (2007), a dendrocronologia é a ciência que analisa e interpreta o desenvolvimento e crescimento dos anéis de crescimento das árvores. Essa ciência é um dos métodos mais utilizados para datação aplicadas em madeiras e carvões, de forma geral a dendrocronologia apresenta um alto nível de exatidão.

Fritts (1976), diz que o início da dendrocronologia no ano de 1911 quando o pesquisador Andrew Douglas fez a primeira identificação de anéis de crescimento em árvores de diferentes localidades, constatando que essas apresentavam diferentes dimensões, e com isso utilizando a datação cruzada para identificação do ano de formação dos anéis de crescimento, onde esse analisou os anéis de anos correspondentes e suas diferenças dimensionais de forma a relacionar essas diferenças com fatores ambientais que ocorreram em cada região.

Uma vez que as espécies apresentam sensibilidade ao meio ambiente e seus fatores, a ocorrência de alterações no mesmo proporciona um registro nos anéis de crescimento dos indivíduos, esses podem apresentar modificações de acordo com os fatores ambientais ao qual estão expostos, dessa forma permitindo, que ao identificar o ano de ocorrência do anel possamos analisar o mesmo e identificar possíveis acontecimentos nesse período (GONÇALVES, 2007).

A dendrocronologia permite o estudo do crescimento e da dinâmica das espécies arbóreas, fornecendo informação sobre a relação com as mais diversas variáveis ambientais e com os fenômenos ecológicos, através da análise dos anéis de crescimento (FRITTS, 1976).

Worbes (1999), fala que as informações que a dendrocronologia proporciona e permite serem obtidas, tem se mostrado eficiente e contribuindo nos estudos do crescimento de diferentes espécies arbóreas, permitindo também que através dos anéis de crescimento e suas análises possamos estimar o crescimento diamétrico a longo prazo. O autor ainda traz que essas variáveis podem ser utilizadas para a produção florestal de forma a criar modelos matemáticos que se mostram de grande valia para o manejo de florestas.

Mattos (2011), traz que essa ciência apresenta um potencial já confirmado como ferramenta para estimativas de crescimento diamétrico e idade de indivíduos arbóreos, ressaltando a importância de ampliar a disseminação e os conhecimentos dessa ferramenta de forma a tornar esse ponto de apoio para atividades como o

manejo de florestas naturais, aponta ainda a importância dos estudos dendrológicos em novos locais e com novas espécies proporcionando um maior conhecimento no comportamento das mais variadas espécies e sua dinâmica de interação com o ambiente, uma vez que tais pesquisas mostram resultados relevantes.

3.5 Influências climáticas no crescimento diamétrico

A avaliação da influência do clima sobre o desenvolvimento e crescimento de indivíduos arbóreos é muito buscada por diversos autores, dito isso temos a existência de vários trabalhos e pesquisas relacionadas a esse tema (OLIVEIRA, 2007).

O clima apresenta influência direta no desenvolvimento dos indivíduos arbóreos, uma vez que alguns critérios que esses apresentem podem fornecer um aumento de crescimento ou uma diminuição no mesmo, fato disso está exposto nos anéis de crescimento onde quando temos um ambiente com condições favoráveis em temperatura disponibilidade hídrica dentre outros fatores, temos a formação do lenho inicial que ocorre quando os indivíduos apresentam um desenvolvimento vegetativo mais eficiente, já quando temos um ambiente com condições mais críticas e desfavoráveis tem-se uma redução no seu desenvolvimento, formando assim o lenho tardio (FRITTS, 1976). O lenho tardio é formado por uma diminuição no desenvolvimento vegetativo isso ocorre em momentos que o ambiente apresenta temperaturas muito baixas ou muito altas, períodos de estiagem severa ou de grandes inundações dentre outras situações que provoquem uma situação desfavorável ao desenvolvimento. Com isso vemos que o comportamento climático se mostra como ponto determinante no crescimento dos indivíduos florestais (SOUZA et al., 2006).

Oliveira (2007), traz que esse tipo de pesquisa deve levar em conta não apenas o desenvolvimento do indivíduo para com o clima, mas também outras variáveis ambientais, como a química do solo e sua composição geral, a topografia da área, ataque de patógenos, concorrência de indivíduos dentre outros fatores e variáveis, que possam vir a ocasionar interferências no desenvolvimento, dessa forma essas variáveis também devem ser analisadas e levadas em conta para identificação de uma real ação climática no ambiente.

Os anéis de crescimento possibilitam levantamento de informações através de análises de número de anéis e espessura dos mesmos onde através de sua quantidade temos a determinação do período em que o indivíduo e espécie está estabelecida em um determinado sítio e com análise de suas espessuras se faz

possível uma correlação com os períodos em que ocorreram seca severa e os períodos de maiores precipitações (CORONA, 1986).

O autor Andreacci (2014), traz em sua pesquisa que a espécie *Cedrela ficillis* apresenta um maior desenvolvimento quando essa está em ambiente que apresente temperaturas e pluviosidade mais elevadas. Já no trabalho de Trovati e Ferraz (1984), temos pesquisas para a espécie *Pinus oocarpa*, onde essa apresenta bom desenvolvimento quando temos condições pluviométricas adequadas a elevadas, porém quando submetido a elevadas temperaturas, percebe-se uma diminuição no desenvolvimento de seus anéis de crescimento.

Bernet (2020), demonstra e evidencia como o clima ocasiona interferências no incremento radial dos anéis de crescimento da espécie *Pinus taeda*, ressaltando o uso de serie temporal de dados em sistema de Análise Longitudinal com aplicação de métodos estatísticos de múltiplas variáveis como sendo um meio de grande eficiência para análises dendrocronológicas e a influência do clima sobre o desenvolvimento dos anéis de crescimento em diferentes indivíduos arbóreos.

3.6 Sequestro de carbono

Barreto (2009), traz que o carbono apresenta disponibilidade aos seres vivos através dos vegetais, uma vez que esses armazenam o mesmo através do processo da fotossíntese, dessa forma temos que o carbono armazenado recebe o nome de carbono fixado, esse carbono se apresenta estático porém isso pode ser revertido através da decomposição, onde o carbono fixado é devolvido a atmosfera como dióxido de carbono (CO₂), esse processo ocorre de forma natural pela decomposição biológica, mas se mostra intensificado pela ação antrópica. O Autor diz também que o dióxido de carbono se mostra como um dos gases de efeito estufa por absorver luz infravermelha térmica. Atualmente temos que a emissão desse composto para a atmosfera vem sendo maximizada, principalmente através da queima de combustíveis e derivados do petróleo e de atividades como o desmatamento e queimadas.

O sequestro de carbono florestal é um conceito que existe desde a convenção do clima, porém esse apenas foi consagrado em 1997 após a Conferência de Kyoto, que aprovou mecanismos de flexibilização de redução dos gases de efeito estufa (YU, 2004). O sequestro de carbono em suma é um processo em que temos a absorção de CO₂ atmosférico e armazenamento do carbono (RENNER, 2004). Dito isso temos que a utilização de plantios florestais para o sequestro de carbono se mostra efetiva,

considerando que o crescimento das plantas se apresenta como uma forma de remoção do dióxido de carbono da atmosfera (BAIRD, 2002). Renner (2004) traz que quanto maior a velocidade ao qual o indivíduo cresce temos uma aceleração para a absorção do CO₂, com isso, uma vez que nos trópicos temos um desenvolvimento mais acelerado das árvores, podemos dizer que essas regiões se mostram como promissoras áreas para essa atividade.

De acordo com Rocha (2003), posterior a Conferência de Kyoto de 1997 os governos em busca de forjar o cumprimento do acordo e bater as metas estabelecidas na mesma, viu necessidade em criar projetos e ações que estabelecessem meios de compensação e armazenamento de carbono. Inicialmente tivemos o reconhecimento do sequestro de carbono como ferramenta, mecanismo e forma para o desenvolvimento limpo e desenvolvimento sustentável, proporcionando a criação de um mercado de crédito de carbono de forma a criar uma forma de beneficiar e fomentar atividades que promovam ações referentes ao sequestro de carbono, fornecendo fomento para incentivar os países em desenvolvimento a executar essas atividades.

Delgado; Altheman (2007), trazem que o mercado de carbono se mostra muito promissor uma vez que esse se apresenta como um investimento bem seguro e com boa rentabilidade financeira. Dessa forma se faz importante termos estudos sobre o assunto de forma a permitir um maior conhecimento sobre a absorção e fixação do carbono em florestas, proporcionando uma precificação mais eficiente e permitindo estimativas de absorção muito mais precisas (FEARNSIDE, 2002).

4 METODOLOGIA

4.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo se encontra em uma propriedade rural, onde há um plantio florestal de Araucária, situada na comunidade São Luis no município de Dois Vizinhos, região Sudoeste do Paraná. A propriedade encontra-se próximo as coordenadas 25°45'00" S e 53°03'25" W, com altitude variando entre 475 e 520 metros.

A região apresenta, pela classificação de Koppen, um clima Cfa, subtropical úmido mesotérmico, onde nos meses de inverno temos predominância das temperaturas inferiores a 18°C e nos meses quentes temos predominância de temperaturas superiores a 22°C. Gorenstein (2010), cita que a região apresenta uma média anual de precipitação de 1800 a 2000mm, que são bem distribuídas ao longo do ano, com umidade relativa do ar variando de 64 a 74%, sendo caracterizada por não possuir épocas de seca e por apresentar altas temperaturas no verão. O autor traz também que a vegetação original da região se mostra como Floresta Estacional Semidecidual (FES) em transição para a Floresta Ombrófila Mista (FOM), o solo predominante para a região Sudoeste é o Nitossolo vermelho, com coloração vermelho escuro tendendo a coloração arroxeada (SILVA et al., 2009, p.1).

O plantio foi realizado em setembro de 1969, sendo feito manualmente através do processo de semeadura direta da semente na cova, a área plantada corresponde a uma área de 0,5 ha, dispostos em um espaçamento de 5x5, após o plantio não foi realizado nenhum tipo de manejo na área.

A coleta de verrumas se deu no ano de 2012 onde os indivíduos apresentavam uma idade aproximada de 42 anos.

4.2 Mensuração das variáveis dendrométricas e de crescimento

Os rolos de incremento foram obtidos de 15 árvores de *Araucaria angustifolia* no ano de 2012. Em cada fuste foram retirados dois rolos de incremento no sentido transversal com o trado de Pressler, em altura padronizada de 0,45 metros do solo. Coletou-se também as variáveis dendrométricas, Diâmetro a altura do Peito (DAP) medido com auxílio da suta dendrométrica e altura total, sendo essa obtida com auxílio do hipsômetro Vertex IV.

Após a coleta em campo, os rolos de incrementos foram preparados e acomodados em suporte de madeira, para serem secos a temperatura ambiente.

Posteriormente as amostras secas, foram polidas com papel microabrasivo de diferentes granulometrias onde essas variaram de 120 – 600p/mm², com isso formando uma superfície lisa e homogênea, proporcionando assim um maior destaque das estruturas macroscópicas do lenho.

As demarcações do limite dos anéis de crescimento foram realizadas com auxílio de lápis preto técnico HB 2B e da lupa para facilitar a sua visualização e posterior mensuração. Após as demarcações, os rolos foram digitalizados por um escâner de mesa, gerando imagens com resolução de 1200 dpi. Essas foram submetidas a análise e mensuração no software Image-Pro Plus 7, que foi responsável por revelar a largura de cada anel de crescimento presente nas amostras. Posteriormente os valores encontrados foram exportados para planilhas Excel onde foram feitas as demais análises.

4.3 Obtenção de dados meteorológicos

As variáveis meteorológicas foram obtidas do Grupo de Estudos em Biometeorologia (Gebimet) da UTFPR – Campus Dois Vizinhos, através do site <<https://www.gebiomet.com.br/>> o banco de dados qual foi acessado apresentava dados para o município de Dois Vizinhos – PR a partir do ano de 2007, sendo assim foram obtidos dados meteorológicos dos anos de 2008 a 2012 pois o período anual considerado tem início em setembro. Posteriormente os dados meteorológicos foram correlacionados com o Diâmetro a altura do peito e variáveis de incremento diamétrico apresentados pelos indivíduos de *Araucaria angustifolia*. Para o presente estudo utilizou-se das variáveis: precipitação (mm), temperatura (°C), umidade relativa (%) e Radiação (kJ/m²).

4.4 Obtenção de variáveis para cálculo de remoção do carbono

As variáveis diâmetro a altura do peito e altura total dos indivíduos foram obtidas a campo no ano de 2012 juntamente com a retirada dos rolos de incremento. Através da análise dendrocrológica do incremento obteve-se os valores de Incremento Corrente Anual (ICA), e com esse foi possível a estimativa dos valores de DAP dos anos anteriores ao da medição, através dos valores de DAP foram estimadas as alturas dos indivíduos através de relação hipsométrica.

Através desses dados foram feitas estimativas sobre a taxa de carbono a qual os indivíduos removeram da atmosfera e por sua vez estocaram no fuste no decorrer dos anos, assim proporcionando uma estimativa de toneladas de carbono estocado por ano (tCO₂e/ano).

4.5 Processamento de dados

4.5.1 Incremento médio anual (IMA) e Incremento corrente anual (ICA)

Os dados obtidos pelo software Image-Pro Plus 7 após serem processados no software Excel proporcionaram uma sequência de valores de incremento para cada amostra analisada. Com os valores de incremento das verrumas foi feita uma estimativa de diâmetro de crescimento para cada ano, essa se deu através da soma dos anéis correspondentes a determinado ano nas duas verrumas analisadas.

Para o processamento dos dados de incremento em diâmetro, uma vez que os dados obtidos através das verrumas são referentes a base dos indivíduos, se faz necessário uma estimativa dos valores de diâmetro altura do peito (DAP), para isso consideramos que os anéis de crescimento da base apresentam a mesma largura dos anéis de crescimento no DAP assim como foi feito nos trabalhos de Vuaden (2013) e Pereira (2011), uma vez que conhecemos o valor de DAP no período da coleta das verrumas é possível calcular os valores de DAP dos anos anteriores, esses valores foram obtidos pela subtração do diâmetro do anel de crescimento pelo valor do DAP obtido a campo.

Juntamente com esses valores foi determinada a idade dos indivíduos uma vez que essa se dá pela contagem dos anéis de crescimento presentes nas duas verrumas. Posteriormente a obtenção desses valores, foi calculado o incremento médio anual (Equação 1) e o incremento corrente anual (Equação 2).

O cálculo do IMA diamétrico se dá através da razão entre o diâmetro a altura do peito e a idade de cada indivíduo, como mostra a Equação 1.

$$IMA = \frac{DAP_{(m)}}{m} \quad (1)$$

Onde: IMA = Incremento médio anual em cm/ano; DAP_(m) = Diâmetro à altura do peito do indivíduo na idade (m) em cm; m = Idade em anos.

O ICA diamétrico é obtido através da diferença entre a dimensão que o indivíduo apresentava no fim e início do período de um ano esse representado na Equação 2.

$$ICA = DAP_m - DAP_{m-1} \quad (2)$$

Onde: ICA = Incremento corrente anual (cm/ano); DAP = Diâmetro à altura do peito do indivíduo na idade (m) em cm; m = Idade considerada em anos.

4.5.2 Correlação entre o crescimento diamétrico com as variáveis climáticas

Para a correlação primeiramente foi feita a média anual das variáveis climáticas para essa consideramos o início do ano em setembro e seu término no mês de agosto totalizando os 12 meses correntes do ano, desse modo obteve-se médias para os anos de 2008 a 2012. Com os valores médios definidos, esses foram submetidos a análise de correlação linear de Pearson (Equação 3), sendo essa feita por meio do software Microsoft Office Excel. Com a análise foi possível relacionar e identificar a correlação das variáveis climáticas precipitação (mm), temperatura (°C), umidade relativa (%) e Radiação (kJ/m²) com as variáveis de incremento e o Diâmetro a Altura do Peito (DAP), dos indivíduos.

Esse coeficiente proporciona a medida do grau de correlação linear existente entre duas variáveis quantitativas, gerando um índice adimensional que apresenta variação entre -1,0 e 1,0 esses valores correspondem ao nível de correlação, essa ocorre de forma proporcional quando positivo ou inversamente proporcional quando apresenta valores negativos (SCHNEIDER; SCHNEIDER; SOUZA, 2009).

$$P = \frac{\text{Covariância de Y e X}}{(\text{Variância de Y}) * (\text{Variância de X})} \quad (3)$$

Onde: P = teste de correlação de Pearson; Variância de Y = espessura de cada anel de crescimento; Variância de X = variáveis climáticas.

Schneider; Schneider; Souza (2009), trazem ainda que o valor de “P” pode ser estimado pela equação 4.

$$r = \frac{(\sum_{i=1}^n xy)}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x^2)(\sum_{i=1}^n y^2)}} \quad (4)$$

Onde: x = as variáveis climáticas e y = espessura de cada anel de crescimento.

4.5.3 Métodos de cálculo da Remoção de Carbono

Para calcular o carbono removido utilizou-se da metodologia recomendada pela Social Carbon (2022). Para isso deve-se calcular os valores de incremento anual do povoamento em toneladas de carbono estocado por ano.

Para esse cálculo aplicou-se os valores de DAP e altura dos indivíduos em uma equação alométrica sendo essa a equação de Schumacher Hall (Equação 5), essa proporcionou valores estimados de biomassa seca (kg) para a parte aérea dos indivíduos estudados.

$$\ln Y = B_0 + B_1 * \ln DAP + B_2 * \ln h \quad (5)$$

Onde: Y = Biomassa de matéria seca total (kg); DAP = Diâmetro a Altura do Peito; h = Altura; ln = Logaritmo neperiano.

Trazendo como base o trabalho de Sanquetta (2014), que analisou plantios puros de *Araucaria angustifolia* nos municípios de Quedas do Iguaçu e General Carneiro localizados no sul do estado do Paraná. Os coeficientes apresentam valores definidos de $B_0 = -1,2538$; $B_1 = 2,1400$; $B_2 = 0,4559$.

Posteriormente o valor de biomassa seca foi submetido a um coeficiente de teor de carbono sendo que para o presente estudo utilizou-se para esse coeficiente um valor de 0,47 com a aplicação desse coeficiente, obteve-se o valor de carbono presente no fuste do indivíduo, para a obtenção do valor de incremento anual foi necessário calcular os valores de carbono para os anos anteriores e a partir de uma subtração simples obter os valores de incremento de carbono anual.

Para o cálculo do incremento de carbono, se faz necessário valores de DAP e altura para os anos anteriores ao ano de coleta, dessa forma esses valores foram estimados possibilitando o cálculo da estimativa de incremento anual de carbono.

Para os dados de DAP utilizou-se dos mesmos calculados para a obtenção dos valores de IMA e ICA do presente trabalho. Para a obtenção dos valores de altura foi utilizado da equação de Curtis para relação hipsométrica entre DAP e altura (Equação 6).

$$\ln H = B_0 - B_1 * \left(\frac{1}{DAP} \right) \quad (6)$$

Onde: H = Altura total; DAP = Diâmetro a Altura do Peito; ln = Logaritmo neperiano; B0 e B1 = são coeficientes.

Trazendo como base o trabalho de Jung *et al.*, (2012) os coeficientes apresentaram valores definidos de $B_0 = 3,3092$; $B_1 = 10,3174$.

Esse modelo matemático foi selecionado pois o trabalho de Jung *et al.*, (2012) foi feito na mesma área e com os mesmos indivíduos de *Araucaria angustifolia*, onde segundo o autor o modelo selecionado apresenta a melhor representatividade para os indivíduos.

Com os valores de incremento definidos calculou-se os valores estimados de CO₂ fixados pelo fuste anualmente da floresta (tCO₂e/ano). Esse cálculo foi feito com a utilização da Equação 7, apresentada a seguir:

$$RV_y = \left(\frac{AI^c * 44}{12} \right) * A \quad (7)$$

Onde: AI^c = Incremento anual de carbono (tC/ha); A = área ocupada pela floresta (ha); RV_y = CO₂ removido por ano pela floresta (tCO₂e/ano); 44 representa a massa atômica do CO₂; 12 representa a massa atômica do elemento carbono.

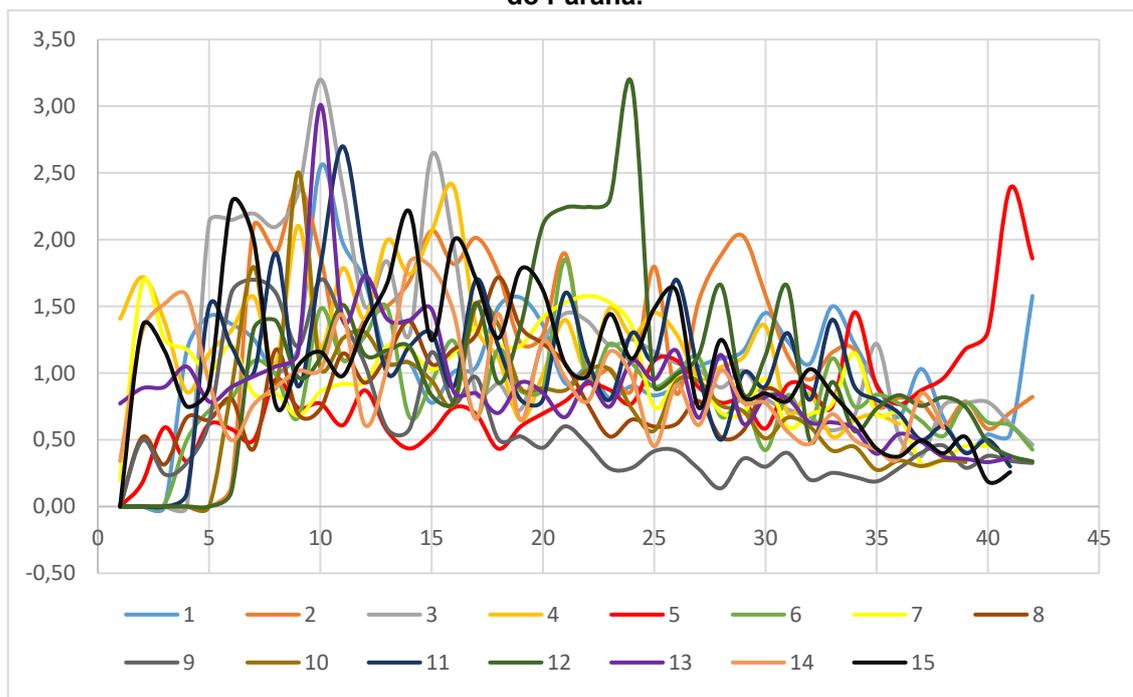
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Obtenção de idade e valores de IMA e ICA

Através das medições nas verrugas foram obtidos os valores de idade de cada um dos indivíduos, nesses identificou-se uma idade máxima de 42 anos e uma idade mínima de 32 anos, essa variação ocorre por conta de replantios que foram feitos na área com intuito de suprir a mortalidade no local.

Com a contagem dos anéis, foi possível calcular os valores de IMA e ICA em diâmetro por indivíduo, dentre todos os indivíduos o maior ICA em diâmetro encontrado foi de 3,2 cm/ano que ocorreu no décimo ano, já o menor ICA significativo em diâmetro ocorreu no terceiro ano de idade apresentando um valor de 0,02 cm/ano, assim como representado no gráfico 1.

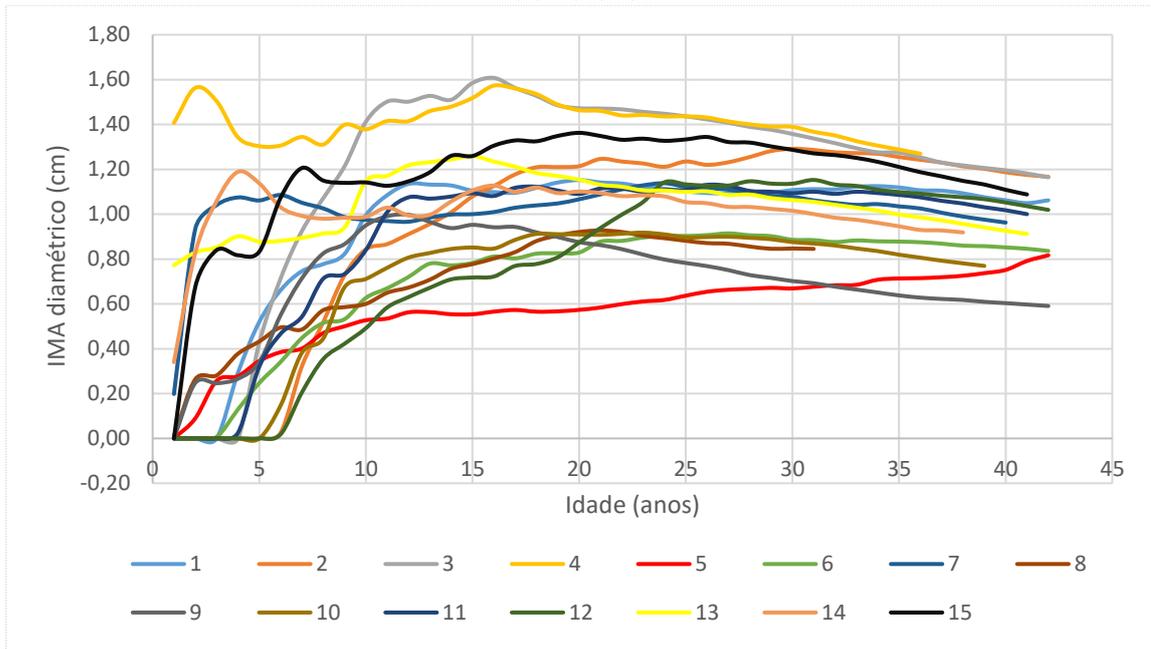
Gráfico 1: ICA em diâmetro por idade para 15 indivíduos de *Araucaria angustifolia* no Sudoeste do Paraná.



Fonte: O Autor (2023).

Para o IMA em diâmetro dentre todos os indivíduos o maior valor de incremento encontrado foi de 1,61 cm/ano que ocorreu no décimo sexto ano para o de idade, já o menor IMA em diâmetro significativo ocorreu ao sexto ano apresentando um valor de 0,06 cm/ano, assim com representado no gráfico 2.

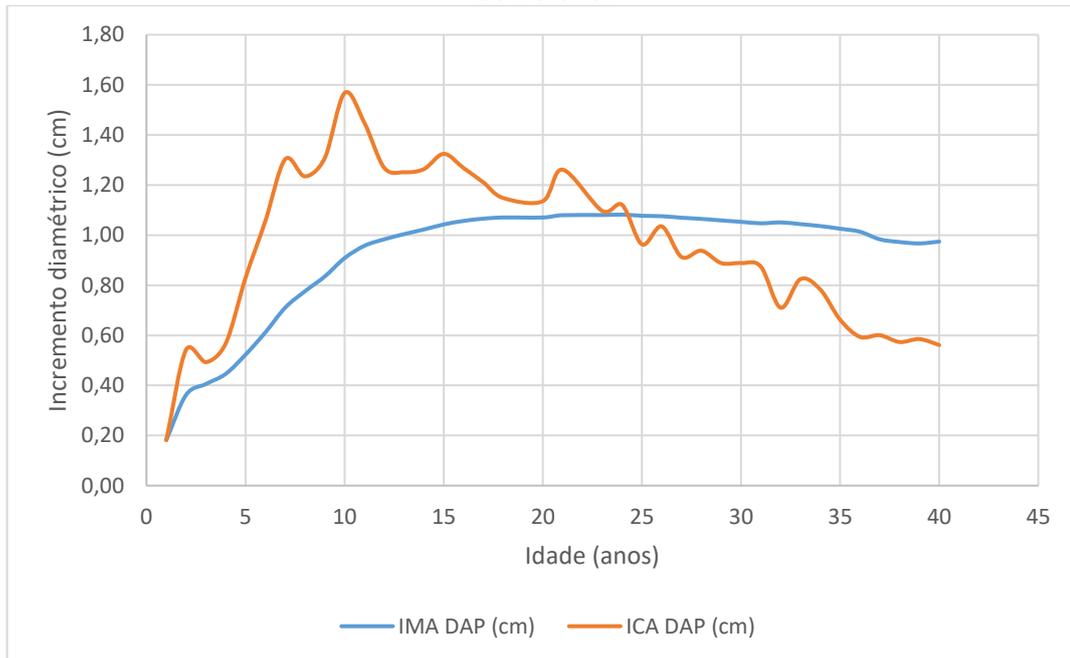
Gráfico 2: IMA em diâmetro por idade para 15 indivíduos de *Araucaria angustifolia* no Sudoeste do Paraná.



Fonte: O Autor (2023).

No gráfico 3 observa-se que o ponto máximo de Incremento Corrente Anual, ocorre aos 10 anos onde tem-se um valor de 1,6 cm/ano de ICA em diâmetro e a partir desse ponto temos um decréscimo para essa variável. Já o IMA em diâmetro apresentou decréscimo em seus valores a partir do décimo quinto ano. Pode-se observar também que o ponto de encontro do ICA e IMA em diâmetro se dá entre os anos 24 e 25 do plantio quando ambos apresentam um valor de incremento 1,1 cm/ano. Loiola et al., (2019), apresenta valores semelhantes para IMA_d em cm/ano para indivíduos de *Araucaria angustifolia*, localizados no Planalto Serrano de Santa Catarina, onde esses apresentaram um incremento máximo de 1,42 cm/ano e um valor mínimo de 0,2 cm/ano.

Gráfico 3: Incremento diamétrico por idade em plantio de *Araucaria angustifolia* no sudoeste do Paraná.



Fonte: O Autor (2023).

O gráfico 3 apresenta uma estagnação no incremento médio em diâmetro dos indivíduos tendo início aproximadamente aos 20 anos de idade e se prolongando aproximadamente por 10 anos, posterior a essa idade tem-se um decréscimo dos valores de incremento. Loiola et al., (2019), aponta em seu estudo que as araucárias para a região do Planalto de Santa Catarina, apresentam estagnação em seu crescimento em diâmetro a partir dos 40 anos, mencionando a necessidade do uso de intervenções sustentáveis para o aumento do seu crescimento e produção.

5.2 Influência das variáveis meteorológicas no crescimento da espécie

Os valores obtidos de ICA em diâmetro foram utilizados para as estimativas dos diâmetros dos anos anteriores, os quais foram correlacionados pela análise de Pearson com as variáveis climáticas de Temperatura, Umidade Relativa, Radiação e Pluviosidade dos anos de 2012, 2011, 2010, 2009 e 2008, conforme a tabela 4.

Tabela 1: Matriz de análise de correlação de Pearson entre o diâmetro e as variáveis meteorológicas em plantio de *Araucaria angustifolia*, no Sudoeste do PR nos anos de 2008 a 2012.

	<i>DAP</i>	<i>IMA</i>	<i>ICA</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
<i>DAP</i>	1						
<i>IMA</i>	-0.99306	1					
<i>ICA</i>	0.406464	-0.31022	1				
<i>T</i>	0.066734	-0.05761	-0.021	1			
<i>UR</i>	-0.12222	0.032323	-0.36875	-0.34498	1		
<i>R</i>	0.250496	-0.1943	0.160203	0.697931	-0.88044	1	
<i>PP</i>	0.3855	-0.467	-0.20463	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Fonte: O Autor (2023).

Onde: DAP = Diâmetro à altura do Peito (cm); IMA_d = Incremento Médio Anual em Diâmetro do povoamento; ICA_d = Incremento Corrente Anual em Diâmetro do povoamento; T = Temperatura média (°C); UR = Umidade Relativa (%); R = Radiação solar (kJ/m²); P = Precipitação (mm).

A tabela 4 demonstra uma relação positiva entre o DAP e a Radiação (kJ/m²) que apresentou um r de 0,25. Outra variável que apresentou correlação positiva com o DAP foi a precipitação (mm), com um r de 0,38, sendo esse o maior valor de correlação apresentado pela matriz de Pearson.

O ICA em diâmetro apresentou correlação positiva com a variável radiação (kJ/m²) que apresentou um r de 0,16. Apresentando correlação negativa com duas variáveis climáticas, sendo essas a Precipitação (mm) com um r de -0,20 e a Umidade Relativa (%) com um r de -0,36, já para a variável temperatura o ICA não apresentou correlação com valores significativos. Diversos autores encontraram correlação entre indivíduos de Araucária e essas variáveis climáticas, porém normalmente a correlação de Pluviosidade (mm) se apresenta positiva, juntamente com a temperatura.

Zanon e Finger (2010) através de um estudo mensal, concluíram que o aumento das variáveis precipitação e temperatura ocasionam influência positiva no incremento em diâmetro da araucária. Machado et al. (2014), em seu trabalho identificou uma correlação positiva entre o Incremento Corrente Anual em diâmetro e as variáveis temperatura e fotoperíodo para indivíduos de araucária em floresta nativa.

O trabalho de Lorenzi e Prestes (2018), cita que as interações climáticas devem ser analisadas de forma conjunta, onde identifica para *Araucaria angustifolia* que o período de verão com altas temperaturas e altos índices pluviométricos ocasionam maior crescimento, enquanto altos índices pluviométricos com baixas temperaturas desfavorecem o crescimento, e que em períodos outonais a temperatura amena com baixo acúmulo de volume pluviométrico atuam a favor do crescimento dos indivíduos.

No Anexo - A temos uma análise de correlação de Pearson de forma individual para os 15 indivíduos de *Araucaria angustifolia*, nessa a correlação do ICA em diâmetro com a temperatura apresentou correlação positiva com 7 indivíduos e apresentou correlação negativa com 8 indivíduos. Observa-se também que de maneira geral quando a temperatura tem correlação positiva a radiação também demonstra correlação positiva, o mesmo ocorre entre as variáveis umidade relativa e precipitação onde quando uma apresenta correlação positiva a outra também se mostra positiva, outro ponto identificado é que quando a umidade relativa se mostra negativa a radiação tende a ser positiva.

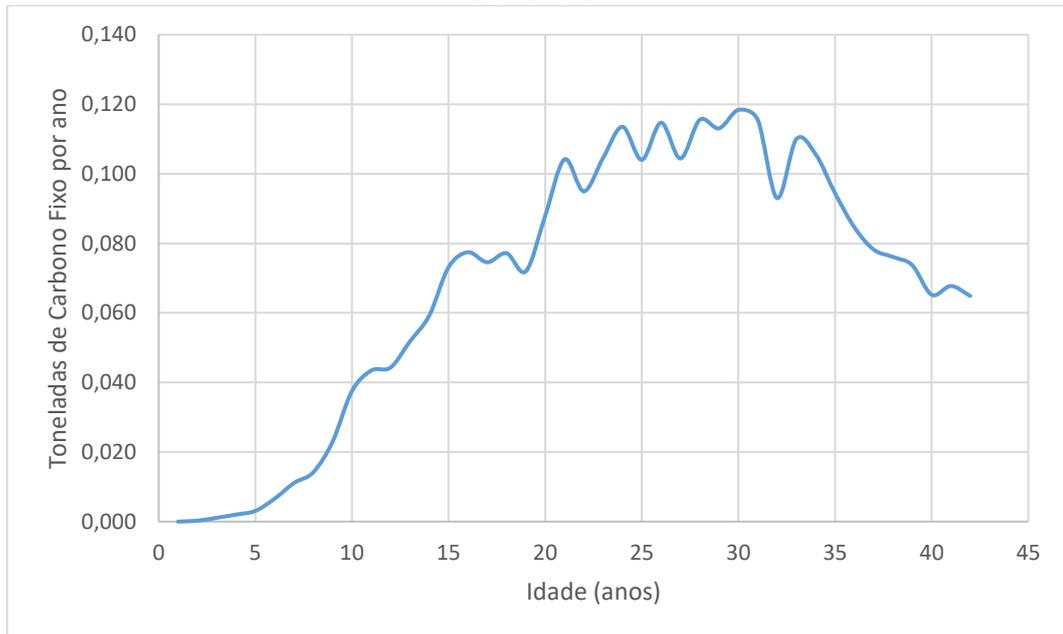
Em análise de literária observa-se que de forma geral a temperatura e pluviosidade tendem a se correlacionar positivamente com o crescimento em diâmetro dos indivíduos de Araucária o fato dessas variáveis apresentarem negativas ou não correlacionantes possivelmente se deve a idade avançada do plantio qual foram feitas as análises.

Podemos atribuir também esses valores ao fato de que, na literatura esse tipo de análise é feito normalmente com indivíduos em anos iniciais de desenvolvimento conforme demonstrado no trabalho de Machado et al. (2014), que analisou os indivíduos de araucária nas idades de 4, 3 e 5 anos. Podendo ser feitas também análises de forma mensal conforme demonstra o trabalho de Zanon e Finger (2010), onde tem-se uma análise mensal sobre a correlação do clima com o incremento diamétrico dos indivíduos de araucária, dessa maneira desconsiderando o decréscimo de incremento anual que os indivíduos apresentam de forma natural a partir de determinada idade.

5.3 Carbono Fixado

Para a análise de absorção de carbono do povoamento pela parte aérea, obteve-se um valor máximo de 0,86 toneladas de carbono, esse ocorreu aos 30 anos de idade do povoamento, com a conversão de carbono para carbono fixo chegamos a um valor de 0,118 (tCO₂e/ano) de carbono fixado, identificamos os anos de menor absorção como os primeiros 2 anos onde o valor de absorção foi inferior a 0,01 toneladas de carbono, dessa forma não apresentando valor significativo de carbono fixado por ano (Gráfico 4).

Gráfico 4: Quantidade de Carbono fixado em um plantio de *Araucaria angustifolia* no Sudoeste do Paraná.



Fonte: O Autor (2023).

Em relação a absorção total de carbono fixo pela parte aérea do povoamento chega-se a um valor estimado de 2,9 toneladas de carbono fixo absorvidas pelo povoamento em 42 anos de plantio, totalizando um valor de 76,71 tCO₂e/ha, nesse mesmo período.

O gráfico 4 apresenta também o ponto máximo para a estimativa da absorção de carbono, sendo que a mesma ocorre aproximadamente aos 30 anos de idade, onde apresenta um valor aproximado de 0,118 (tCO₂e/ano).

Através dos dados analisados tem-se uma média de fixação de carbono pela parte aérea de um único indivíduo estimado em 0,0046 (tCO₂e/ano), esse valor considerando o espaçamento de 5x5 do plantio gera uma absorção estimada de 1,83 (tCO₂e/ha.ano⁻¹).

Dalla Corte e Sanqueta, (2007), trazem em seu trabalho um valor aproximado de 189,86 tCO₂e/ha fixadas por reflorestamentos de Pinus em área de domínio da Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná. O trabalho de Meira et al. (2020), estima o incremento periódico em carbono para os indivíduos com CAP acima de 15 cm em uma área de floresta nativa em bioma Mata Atlântica, onde encontra um incremento em carbono de 2,73 t.ha⁻¹.ano⁻¹ dentro de um período de dois anos.

Em análise o presente trabalho apresenta baixos valores de fixação de carbono no início do desenvolvimento do plantio isso ocorre por conta de a metodologia utilizada considerar os valores de DAP como base para seus cálculos e

estimativas, dito isso o fato da não existência de valores de DAP nos anos iniciais dos indivíduos promove valores sem significância para esses mesmos períodos.

6 CONCLUSÃO

Através dos anéis de crescimento da *Araucaria angustifolia*, foi possível fazer as análises de Incremento Médio Anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) em diâmetro para o povoamento apresentando um IMA_d máximo de 1,1 (cm/ano) aos 23 anos, e um ICA_d máximo de 1,6 aos 10 anos. Em análise individual o maior valor de IMA_d encontrado foi de 1,61 cm/ano pelo indivíduo 3, aos 16 anos, o mesmo indivíduo apresentou o maior valor de ICA_d aos 10 anos sendo esse valor 3,2 cm/ano.

Foi possível identificar correlação das variáveis climáticas com o DAP, IMA e ICA. Onde o DAP apresentou correlação com a Precipitação (0,38) e Radiação (0,25). O ICA em Diâmetro apresentou correlação positiva com a variável, Radiação (0,16) e apresentou variação negativa para as variáveis Precipitação (-0,20) e Umidade Relativa (-0,36). Já o IMA não apresentou qualquer correlação positiva significativa.

O valor total de carbono foi 2,9 tCO₂ e absorvidos pela parte aérea de 15 indivíduos ao longo de 42 anos de idade, com um valor médio de 0,0046 (tCO₂e/ano) por indivíduo e uma estimativa de 2,73 (tCO₂e/ha.ano⁻¹). O ponto de pico da absorção de carbono ocorreu aos 30 anos.

Os resultados encontrados nesse trabalho contribuem de forma significativa para os estudos referentes a espécie, onde fornece informações sobre dinâmica de crescimento em plantio comercial. No entanto indica-se a realização de novos trabalhos considerando mais localidades maior número de indivíduos, com uma maior gama de dados para as referidas análises.

REFERÊNCIAS

- ALDER, D. **Growth modeling for mixed tropical forests**. Tropical Forestry Papers, Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford, n. 30, 1995.
- ANDREACCI, F.; BOTOSSO, P. C.; GALVÃO, F. **Sinais climáticos em anéis de crescimento de *Cedrela fissilis* em diferentes tipologias de florestas ombrófilas do Sul do Brasil**. Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2014.
- BARRETO, L.; FREITAS, A. C.; PAIVA, L. **Sequestro de carbono**. Enciclopédia Biosfera, v. 5, n. 7, 2009.
- BAIRD, C. **Química ambiental**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- BERNERT, M. R. et al. **Influência de variáveis ambientais no incremento radial dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* L.** Research, Society and Development, v. 9, n. 3, p. e84932472-e84932472, 2020.
- BOTOSSO P. C.; MATTOS P. P. **A idade das árvores: importância e aplicação** [online]. Colombo: EMBRAPA Florestas; 2002.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
- CHASSOT, T. et al. **Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista**. Ciência Florestal, v. 21, p. 303-313, 2011.
- CORONA, E. **Dendrochronologia: principi e applicazioni**. Verona: Istituti Italiano di Dendrochronologia, 1986. 103 p.
- DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. **Quantificação do estoque de carbono fixado em reflorestamentos de *Pinus* na área de domínio da Floresta Ombrófila Mista no Paraná**. Cerne, v. 13, n. 1, p. 32-39, 2007.
- DELGADO, M. F.; ALTHEMAN, E. **Estudo sobre a viabilidade financeira do Mercado de Carbono**. Revista de Ciências Jurídicas e Empresariais, v. 8, n. 1, 2007.
- DE MATTOS, P. P. et al. **A dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais**. 2011.
- FEARNSIDE, P. M. **Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira**. Estudos Avançados, v. 16, p. 99-123, 2002.
- FIGUEREDO F.; RETSLAFF, F. S.; RETSLAFF1, F. S.; SANTOS, T. L.; STEPKA, T. F. **Crescimento e Idade de Espécies Nativas Regenerantes Sob Plantio de *Araucaria angustifolia* no Paraná** - Floresta e Ambiente, v. 24, n. e00104814, p. 2-9, 2017.
- FINGER, C. A. G. **Fundamentos da biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992.

- FINGER, C. A. G.; FARJADO, A. G. **Crescimento Diamétrico da *Araucaria colimnaris* Foster & Hooker em Santa Maria – RS** – Ciência Florestal, Santa Maria, v.5, n. 1, p. 155-170, 1995.
- FRITTS, H. C. **Tree rings and Climate** – New York, ACADEMIC PRESS INC., 1976.
- GONÇALVES, G. V. **Dendrocronologia: princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade**. CIDEHUS. Universidade de Evora. Consultado julho, v. 23, p. 2012, 2007.
- GORENSTEIN, M. R.; BECHARA, F. C.; ESTEVAN, D. A.; SGARBI, A. S.; GALLO, I. C. **Estrutura e diversidade da comunidade arbórea na trilha ecológica da UTFPR, campus Dois Vizinhos através do método de quadrantes**, 2010.
- IMAÑA ENCINAS, J.; SILVA, G. F. da; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. 2005.
- KIERMAN, D. H.; BEVILACQUA, E.; NYLAND, R. D. **Individual-tree diameter growth model for sugar maple trees in uneven-aged northern hardwood stands under selection system**. Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 256, p. 1579-1586, 2008.
- LOIOLA, T. M. **Análise dendrocronológica do crescimento de *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze no planalto serrano de Santa Catarina**. HOLOS, v. 2, p. 1-9, 2019.
- LORENSI, C.; PRESTES, A. **Dendroclimatologia com amostras de *Araucaria angustifolia* coletadas em Santa Catarina**. Revista Univap, v. 24, n. 44, p. 1-12, 2018.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras – manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas no Brasil**. Nova Odessa: Ed. Plantarum, 1992. 360p.
- LUZ, A. L. de O. M. da. **Análise da formação dos anéis de crescimento anual das árvores ao longo dum ciclo de actividade cambial**. 2011. Tese de Doutorado. ISA/UTL.
- MACHADO, S. do A.; ZAMIN, N. T.; NACIMENTO, R. G. M.; SANTOS, A. A. P. dos. **Efeito de variáveis climáticas no crescimento mensal de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* em fase juvenil**. Floresta e ambiente, v. 21, n. 2, p. 170-181, 2014.
- OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia*: bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**. 2007. Tese de Doutorado. Tesis de doctorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- PALERMO, G. P. de M.; LATORRACA, J. V. de F.; ABREU, H. dos S. **Métodos e técnicas de diagnose de identificação dos anéis de crescimento de árvores tropicais**. Floresta e Ambiente, v. 9, n. único, p. 165-175, 2012.
- PEREIRA, L. D. **Dendroecologia de *Cedrela fissilis* (Vell.) na região de Santa Maria, RS**. 2011.
- PRODAN, M. H. **Frankfurt: Sauerlaender's Verlag**, 1965. 644p.

RENNER, R. M. **Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. 2004.

ROCHA, M. T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2003.

SANTOS, W. C.; ROSOT, N. C.; ROSOT, M. A. D. **Características edáficas relacionadas à produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze**. Floresta, v. 40, n. 1, 2010.

SANQUETTA, C. R. et al. **Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia***. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 44, p. 01-08, 2014.

SCHEEREN, L. W.; FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Crescimento de Canela-lageada *Ocotea pulchella* Nees et Mart. ex Nees, na depressão central do estado do Rio Grande do Sul**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 137-144, 2002.

SCHENEIDER, P. R.; SCHENEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada a Engenharia Florestal**. Santa Maria-RS, Facos – UFSM, 2 ed., 2009.

SILVA, L.; EMER, A. A.; BORTOLONI, C. E.; ARRUDA, J. H. **Estudo de um Nitossolo vermelho com evidência de caráter coeso da região sudoeste do Paraná**. Synergismus Scientifica UTFPR, Pato Branco, v.4, n.1, 2009.

SOARES, R. V. **Considerações sobre a regeneração natural da *Araucaria angustifolia***. Floresta, v. 10, n. 2, 1979.

SOUZA, M. J. H.; RIBEIRO, A.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; MINUZZI, R. B. **Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce**. Revista Árvore, Viçosa, v. 30, n.3, p. 399-410, 2006.

SOUZA, V. A. de; FRITZSONS, E.; PINTO JUNIOR, J. E.; AGUIAR, A. V. de (ed.). **Araucária: pesquisa e desenvolvimento no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. cap. 17, p. 337-360.

SPIECKER, H. **Tree rings and forest management in Europe**. Dendrochronologia, v. 20, n. 1-2, p. 191-202, 2002.

STEPKA, T. F.; DIAS, A. N.; FILHO, A. F.; MACHADO, S. A.; SAWCZUK, A. R. **Modelagem do incremento em diâmetro da *Araucaria angustifolia* em uma floresta ombrófila mista do centro sul do Paraná**, floresta, Curitiba, PR, v. 42, n. 3, p. 607 - 620, jul./set. 2012.

TROVATI, L. R.; FERRAZ, E. SB. **Influência da precipitação e da temperatura na densidade dos anéis de crescimento de *Pinus oocarpa***. IPEF, v. 26, p. 31-36, 1984.

VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forest**. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, 1994, 312 p

VUADEN, E. et al. **Morfometria e incremento de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. na região central do Rio Grande do Sul.** 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

WORBES, M. **Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela** – Journal of Ecology, v. 87, 1999.

YU, C. M. **Seqüestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas.** Annablume, 2004.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G. **Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados.** Ciência Florestal, v. 20, p. 467-476, 2010.

ZEIDE, B. **Accuracy of equations describing diameter growth.** Canadian Journal of Forest Research, Ottawa, v. 19, n. 10, p. 1283 - 1286, 1989.

ANEXO A - Matrizes individuais de análise de correlação de Pearson entre o diâmetro e as variáveis meteorológicas em plantio de *Araucaria angustifolia* no Sudoeste do Paraná nos anos de 2008 a 2012.

Indivíduo 1

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	0.846231	1					
IMAd	-0.64473	-0.14617	1				
T	0.215549	0.499099	0.207431	1			
UR	-0.39467	-0.79201	-0.43268	-0.34498	1		
R	0.514454	0.877706	0.288954	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.179327	-0.20084	-0.70592	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 2

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	0.568148	1					
IMAd	-0.98917	-0.4565	1				
T	0.060422	-0.46408	-0.08091	1			
UR	-0.15155	-0.48944	0.032177	-0.34498	1		
R	0.277984	0.257313	-0.19219	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.354705	-0.45382	-0.47749	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 3

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	-0.792	1					
IMAd	-0.97919	0.894074	1				
T	0.043108	-0.15787	-0.0982	1			
UR	-0.01264	0.560611	0.212868	-0.34498	1		
R	0.169065	-0.54546	-0.33112	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.477627	0.065657	-0.31233	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 4

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	-0.34532	1					
IMAd	-0.99352	0.435591	1				
T	0.089086	0.503556	-0.04259	1			
UR	-0.13081	-0.11611	0.065188	-0.34498	1		
R	0.264644	0.12273	-0.21244	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.388136	-0.05159	-0.42874	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 5

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
--	------------	-------------	-------------	----------	-----------	----------	-----------

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	0.834801	1					
IMAd	0.996286	0.843121	1				
T	0.078404	-0.26485	0.072009	1			
UR	-0.20798	0.17661	-0.25504	-0.34498	1		
R	0.304551	-0.20357	0.321956	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.303468	0.413195	0.246481	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 6

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	-0.37258	1					
IMAd	-0.9477	0.622499	1				
T	0.017261	-0.72042	-0.20035	1			
UR	-0.01998	0.654631	0.316288	-0.34498	1		
R	0.164138	-0.7788	-0.4399	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.457728	0.059294	-0.25434	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 7

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	-0.33172	1					
IMAd	-0.98767	0.452544	1				
T	0.092273	0.43005	-0.04658	1			
UR	-0.17758	-0.43035	0.041943	-0.34498	1		
R	0.299133	0.318749	-0.1956	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.343849	-0.39412	-0.45253	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 8

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	0.449318	1					
IMAd	-0.82144	0.006003	1				
T	0.08774	0.153498	0.013769	1			
UR	-0.20233	-0.27879	-0.28075	-0.34498	1		
R	0.309919	0.164744	0.036585	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.315629	-0.03254	-0.68233	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 9

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	-0.4935	1					
IMAd	-0.99544	0.572362	1				

T	0.096065	0.649076	-0.03005	1			
UR	-0.10995	-0.06635	0.090365	-0.34498	1		
R	0.25534	0.177809	-0.22385	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.412178	0.009539	-0.39831	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 10

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	0.612143	1					
IMAd	-0.9987	-0.60409	1				
T	0.059478	-0.73597	-0.06966	1			
UR	-0.12116	0.166097	0.079068	-0.34498	1		
R	0.251554	-0.33241	-0.22795	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.383566	0.072583	-0.42921	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 11

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	-0.62512	1					
IMAd	-0.98679	0.731712	1				
T	-0.01118	-0.76027	-0.12619	1			
UR	-0.02677	0.403763	0.151962	-0.34498	1		
R	0.155279	-0.73205	-0.30194	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.436369	-0.32403	-0.38693	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 12

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	-0.96334	1					
IMAd	-0.95747	0.951741	1				
T	-0.01586	-0.15167	-0.13018	1			
UR	0.028191	-0.08926	0.194216	-0.34498	1		
R	0.127017	-0.12577	-0.32171	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.483607	-0.6148	-0.34476	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 13

	<i>DAP</i>	<i>ICAd</i>	<i>IMAd</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>R</i>	<i>PP</i>
DAP	1						
ICAd	-0.74908	1					
IMAd	-0.99957	0.758507	1				
T	0.073355	0.375943	-0.06058	1			
UR	-0.11058	-0.47154	0.087874	-0.34498	1		

R	0.253186	0.353775	-0.22834	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.401128	-0.61777	-0.41608	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 14

	DAP	ICAd	IMAd	T	UR	R	PP
DAP	1						
ICAd	0.581048	1					
IMAd	-0.92002	-0.35323	1				
T	0.051751	-0.33661	-0.08626	1			
UR	-0.20918	0.061686	-0.06355	-0.34498	1		
R	0.292394	-0.25682	-0.1549	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.287786	0.109206	-0.56319	0.209209	0.734157	-0.37169	1

Indivíduo 15

	DAP	ICAd	IMAd	T	UR	R	PP
DAP	1						
ICAd	-0.65873	1					
IMAd	-0.97346	0.770544	1				
T	0.094587	0.429809	-0.05029	1			
UR	0.03128	0.113854	0.148877	-0.34498	1		
R	0.168015	0.076341	-0.2636	0.697931	-0.88044	1	
PP	0.542092	-0.01374	-0.3512	0.209209	0.734157	-0.37169	1