

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO – PR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PPGA**

**RELAÇÕES CLIMÁTICAS COM O CRESCIMENTO DE *Araucaria  
angustifolia* E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB SISTEMA  
SILVIPASTORIL E FLORESTA SECUNDÁRIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**LAIS MARTINKOSKI**

**GUARAPUAVA-PR**

**2015**

**LAIS MARTINKOSKI**

**RELAÇÕES CLIMÁTICAS COM O CRESCIMENTO DE *Araucaria angustifolia*  
E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB SISTEMA SILVIPASTORIL E  
FLORESTA SECUNDÁRIA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Mestrado, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de mestre.

Prof. Dr. Sidnei Osmar Jadoski  
Orientador

Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick  
Co-orientador

**GUARAPUAVA-PR  
2015**

Catálogo na Publicação  
Biblioteca Central da Unicentro, Campus Cedeteg

M386r

Martinkoski, Lais

Relações climáticas com o crescimento de *Araucaria angustifolia* e atributos físicos do solo sob sistema silvipastoril e floresta secundária / Lais Martinkoski. -- Guarapuava, 2015

x, 91 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2015

Orientador: Sidnei Osmar Jadoski

Banca examinadora: Edson Luis Piroli, Cristiano André Pott, Luciano Farinha Watzlawick

Bibliografia

1. Agronomia. 2. Produção vegetal. 3. Dendrocronologia. 4. Precipitação. 5. Qualidade do solo. 6. Sistemas silvipastoris. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

| CDD 634.9

**Laís Martinkoski**

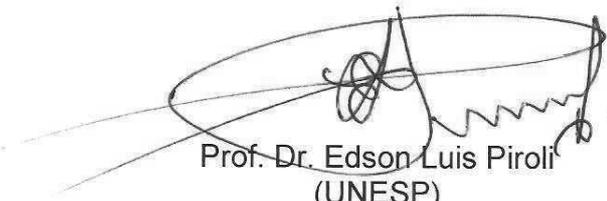
**RELAÇÕES CLIMÁTICAS COM O CRESCIMENTO DE *Araucaria angustifolia* E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB SISTEMA SILVIPASTORIL E FLORESTA SECUNDÁRIA.**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2015.



Prof. Dr. Sidnei Osmar Jadoski  
(UNICENTRO)



Prof. Dr. Edson Luis Pirolli  
(UNESP)



Prof. Dr. Cristiano André Pott  
(UNICENTRO)



Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick  
(UNICENTRO)

GUARAPUAVA-PR

2015

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e pelas infinitas bênçãos que ela me traz.

Ao meu amado Gabriel, futuro agrônomo, por permanecer ao meu lado em todos os momentos, com paciência e carinho, principalmente pelo incentivo e a grande ajuda prestada em várias etapas deste trabalho, sem o qual este não seria possível.

A minha família, especialmente meus pais Dilceu e Janete, por ajudarem a tornar meus sonhos possíveis, por sempre apoiarem, de todas as maneiras, e principalmente pelo exemplo de persistência e otimismo, que me permitiram enfrentar dificuldades sem nunca desistir.

Aos meus orientadores Sidnei Osmar Jadoski e Luciano Farinha Watzlawick, pela orientação, incentivo e confiança depositadas ao longo da minha formação acadêmica.

Ao meu irmão Denis Martinkoski e ao colega e amigo Paulo Guilhermetti pelo auxílio nas coletas a campo e a todos os amigos e colegas de laboratório que de alguma forma contribuíram nesta jornada, seja respondendo minhas dúvidas florestais de agrônoma, auxiliando nas análises estatísticas ou simplesmente com palavras amigas e conversas acompanhadas de chimarrão.

A Sra. Agnes Vercauteren, por ceder o sítio para a realização dos estudos.

A UNICENTRO e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade e a CAPES pelo aporte financeiro durante o mestrado.

Por fim, agradeço a todos que participaram diretamente ou não, desta importante etapa profissional e pessoal que foram estes sete anos de UNICENTRO.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	ii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT .....	v
INTRODUÇÃO GERAL .....	vi
<b>CAPÍTULO I: DENDROCRONOLOGIA DE <i>Araucaria angustifolia</i> SOB SISTEMA SILVIPASTORIL E FLORESTA SECUNDÁRIA.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPTER I: DENDROCHRONOLOGY OF THE <i>Araucaria angustifolia</i> UNDER SILVIPASTORIL SYSTEM AND FOREST SECONDARY .....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>5</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1 O Pinheiro-do-Paraná .....</b>	<b>6</b>
3.1.1 Crescimento diâ métrico de <i>A. angustifolia</i> .....	8
<b>3.2 Formação dos anéis de crescimento em árvores .....</b>	<b>9</b>
<b>3.3 Dendrocronologia .....</b>	<b>10</b>
<b>3.4 Fatores que afetam o crescimento das árvores .....</b>	<b>12</b>
3.4.1 Temperatura .....	12
3.4.2 Precipitação.....	14
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2 Condições edafo-climáticas da área de estudo .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Análises dendrocronológicas .....</b>	<b>20</b>
4.2.1 Coleta e preparo das amostras.....	20
4.2.2 Medição dos anéis de crescimento.....	22
4.2.3 Datação cruzada e construção das cronologias.....	23
<b>4.3 Correlação entre crescimento e dados climáticos.....</b>	<b>24</b>
<b>4.4 Determinação do crescimento diâ métrico nos dois locais.....</b>	<b>25</b>
<b>4.5 Estimativa da idade das árvores em função do crescimento .....</b>	<b>26</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1 Datação cruzada e geração das cronologias .....</b>	<b>27</b>
<b>5.2 Correlação entre as cronologias das duas áreas .....</b>	<b>33</b>
<b>5.3 Correlação do crescimento com os dados climáticos.....</b>	<b>34</b>
<b>5.4 Crescimento de <i>A. angustifolia</i> nos dois locais.....</b>	<b>39</b>
5.4.1 Comparação do incremento em diâ metro .....	39
5.4.2 Estimativa da idade das árvores em função do crescimento.....	42
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>44</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>45</b>
<b>CAPITULO II: QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM ÁREAS SOB MANEJO SILVIPASTORIL E FLORESTA SECUNDÁRIA .....</b>	<b>51</b>

<b>CHAPTER II: PHYSICAL QUALITY SOIL IN AREAS UNDER MANAGEMENT AND STAGE SECONDARY SILVIPASTORIL REGENERATION .....</b>	<b>52</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>55</b>
<b>2.1 Objetivo geral.....</b>	<b>55</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>55</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>56</b>
<b>3.1 Sistema silvipastoril.....</b>	<b>56</b>
<b>3.2 Qualidade do solo .....</b>	<b>57</b>
3.2.1 Indicadores da qualidade do solo.....	58
3.2.1.1 Densidade do solo .....	59
3.2.1.2 Porosidade .....	59
3.2.1.3 Curva de retenção de água no solo.....	60
3.2.1.4 Resistência mecânica do solo a penetração.....	61
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>63</b>
<b>4.1 Descrição da área de estudo.....</b>	<b>63</b>
4.1.1 Histórico da área de estudo .....	63
4.1.2 Condições edafo-climáticas da área de estudo.....	63
<b>4.2 Coleta e das amostrase variáveis avaliadas.....</b>	<b>63</b>
4.2.1 Distribuição das coletasde solo .....	63
4.2.2 Preparo e levantamento das curvas de retenção.....	64
4.2.3 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade .....	64
4.2.4 Umidade gravimétrica do solo .....	66
4.2.5 Resistência mecânica do solo a penetração .....	66
<b>4.3 Delineamento experimental e análise dos resultados .....</b>	<b>67</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>68</b>
<b>5.1 Densidade aparente do solo .....</b>	<b>68</b>
<b>5.2 Porosidade total, macro e microporosidade.....</b>	<b>70</b>
<b>5.3 Curva retenção de água no solo.....</b>	<b>73</b>
<b>5.4 Resistência mecânica a penetração e umidade no momento da coleta .....</b>	<b>75</b>
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>78</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>79</b>
<b>CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>90</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>91</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e texturais do solo nas áreas de Floresta Secundária e Sistema Silvopastoril.....	19
Tabela 2. Resultados da datação cruzada no software COFECHA obtida pelas duas baguetas de incremento de cada árvore da área FS, com destaque às que foram significativas com a <i>máster</i> gerada posteriormente.....	28
Tabela 3. Resultados da datação cruzada dos dois rolos de incremento de cada árvore da área SSP no software COFECHA, com destaque às que foram significativas com a <i>máster</i> gerada posteriormente. ....	28
Tabela 5. Coeficientes de correlação entre as diferentes cronologias e os incrementos reais nas áreas FS e SSP.....	33
Tabela 6. Correlação de crescimento de <i>A. angustifolia</i> com a precipitação acumulada dos últimos 23 anos nas áreas FS e SSP. ....	35
Tabela 7. Correlação de crescimento de <i>A. angustifolia</i> com a temperatura média dos últimos 23 anos nas áreas FS e SSP. ....	38
Tabela 8. Média dos incrementos correntes anuais de <i>A. angustifolia</i> em áreas de floresta secundária e sistema silvipastoril. ....	40
Tabela 9. Incremento médio anual em diâmetro de <i>A. angustifolia</i> por classe diamétrica nos diferentes locais. ....	41
Tabela 10. DAP (cm), número de anéis medidos, incremento médio (cm) por árvore e idade estimada (anos) das amostras de <i>A. angustifolia</i> em uma área com Sistema Silvopastoril e com Floresta Secundária.....	43
Tabela 11. Médias dos valores da densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) em Sistema Silvopastoril e Floresta Secundária em três profundidades.....	68
Tabela 12. Médias dos valores em porcentagem para porosidade total, macroporosidade e microporosidade, sob sistema silvipastoril e floresta secundária em três profundidades. ....	70
Tabela 13. Médias dos valores de RMP (MPa) em Sistema Silvopastoril e Floresta Secundária em três profundidades do solo .....	75
Tabela 14. Médias dos valores da umidade do solo em % em Sistema Silvopastoril e Floresta Secundária em três profundidades do solo. ....	77

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das áreas de estudo em Sistema Silvipastoril (SSP) e Floresta Secundária (FS) situadas no município de Turvo-PR. ....	17
Figura 2: Imagens das formações florestais e diagramas ilustrativos das áreas amostrais: a) com floresta em processo de sucessão secundária correspondente a RL da propriedade e b) em sistema silvipastoril. ....	18
<b>Figura 3.</b> Médias mensais de precipitação acumulada e temperatura média na região da área de estudo. ....	20
Figura 4. (a) coleta das amostras; (b) amostra lixada e demarcada; (c) identificação dos anéis de difícil visualização ....	22
Figura 5. Medição dos anéis de crescimento no programa Image Tool®. ....	22
Figura 6. Número de repetições das amostras de <i>A. angustifolia</i> por ano na área de Floresta Secundária. ....	30
Figura 7. Número de repetições das amostras de <i>A. angustifolia</i> por ano na área de Sistema Silvipastoril. ....	30
Figura 8. Índice de incremento ou série <i>máster</i> de <i>A. angustifolia</i> da área FS elaborada com as séries significativas pelo programa COFECHA. ....	31
Figura 9. Índice de incremento ou série <i>máster</i> de <i>A. angustifolia</i> da área SSP elaborada com as séries significativas pelo programa COFECHA ....	31
Figura 10. Índice de incremento estandarizado médio e dispersão dos índices individuais por árvore, elaborado com as séries significativas de <i>A. angustifolia</i> da área FS. ....	32
Figura 11. Índice de incremento estandarizado médio e dispersão dos índices individuais por árvore, elaborado com as séries significativas de <i>A. angustifolia</i> da área SSP. ....	32
Figura 12. Distribuição da precipitação no período de 1990 a 2013 (adaptado à estação de crescimento: agosto a julho) na região de Guarapuava-PR. ....	34
Figura 13. Dispersão dos incrementos correntes anuais (ICA) dos indivíduos de <i>A. angustifolia</i> em relação à média na área de Floresta Secundária. ....	39
Figura 14. Dispersão dos incrementos correntes anuais (ICA) dos indivíduos de <i>A. angustifolia</i> em relação à média na área de Sistema Silvipastoril. ....	40
Figura 15. (a) Amostras de solo em anéis volumétricos e (b) câmara de pressão de Richards. ....	64

Figura 16. Curvas de retenção de água no solo em sistema silvipastoril (SSP) e floresta secundária (FS) nas camadas 0-20 cm (a); 20-40 cm (b) e 40-60 cm (c). CC corresponde à capacidade de campo em 0,1 bar e PMP corresponde a ponto de murcha permanente em 15 bar. ....	74
Figura 17. Comportamento da RMP ao longo da profundidade analisada em sistema silvipastoril e floresta secundária. ....	76

## RESUMO

Lais Martinkoski. **Relações climáticas de crescimento de *Araucaria angustifolia* e atributos físicos do solo sob sistema silvipastoril e floresta secundária**

A Floresta Ombrófila Mista é característica no bioma Mata Atlântica, sendo encontrada especialmente no sul do Brasil, em grande parte no estado do Paraná. Sistema silvipastoril é uma modalidade de sistema agroflorestal que vem se destacando na busca por sistemas cada vez mais sustentáveis, neste, é possível aliar a produção e a conservação ambiental, visando condições do solo o mais próximo possível das naturais, ao buscar um equilíbrio do ecossistema manejado a partir da diversidade de espécies e manutenção do microclima. O presente estudo buscou verificar a influência de um sistema silvipastoril implantado sob remanescente natural em comparação a uma área de floresta em estágio secundário de regeneração, a qual se encontra isolada do manejo silvipastoril há cerca de 20 anos, no que se refere às variáveis: qualidade física do solo e crescimento em diâmetro de *A. angustifolia*. Foram avaliados os principais indicadores de qualidade física do solo, além de medições dos anéis de crescimento de araucária em indivíduos de diâmetros variados, utilizando-se a técnica denominada dendrocronologia, o que permitiu a geração de cronologias de 23 anos em ambos os locais, as quais foram correlacionadas com as variáveis temperatura média e precipitação acumulada. Verificou-se que o isolamento da área de floresta secundária pode ter sido capaz de, passados 20 anos, alterar a distribuição de poros no solo, no entanto, pode-se considerar o sistema silvipastoril natural analisado como sendo capaz de manter a sustentabilidade ambiental no local quando comparado a uma área preservada, de forma que, o solo não apresentou características de degradação oriundas de sua utilização econômica. Na avaliação de crescimento da araucária, a precipitação apresentou maior influência sobre o crescimento em diâmetro desta nos dois locais em relação à temperatura média, o manejo da área com sistema silvipastoril não alterou o crescimento médio em diâmetro, ocorreram diferenças nas cronologias entre as duas áreas, reiterando a necessidade de conhecimento do histórico da área na realização deste tipo de análise para fins de produção e de conservação.

**Palavras – chave:** dendrocronologia; precipitação; qualidade do solo; sistemas silvipastoris.

## ABSTRACT

Lais Martinkoski. **Growthclimaterelationsof *Araucaria angustifolia*andsoil physical propertiesundersilvopastoral systemandsecondary forest**

The Araucaria Forest is characteristic in the Atlantic Forest, found especially in the south of Brazil, largely in the state of Paraná. Silvopastoral system is a form of agroforestry system that has stood out in the search for more sustainable systems, this is possible to combine production and environmental conservation to soil conditions as close to natural, to seek a balance of the ecosystem managed from the diversity of species and maintain the microclimate. This study looked at the influence of an implanted under natural remaining silvopastoral system compared to a forest area in the secondary stage of regeneration, which is isolated from the silvopastoral management for over 20 years with regard to the physical quality variables soil and diameter growth of *A. angustifolia*. We evaluated the main indicators of soil physical quality as well as measurements of Araucaria growth rings in individuals of different sizes, using a technique called dendrochronology, which allowed the generation of 23-year timelines in both places, which were correlated with the variables average and accumulated precipitation temperature. It was found that the isolation of the secondary forest area may have been able, 20 years, changing the distribution of pores in the soil, however, can be considered the natural system silvopastoral considered as being capable of maintaining the environmental sustainability place when compared to a preserved area, so that the soil was stable characteristics derived from its commercial exploitation. In Araucaria growth assessment, the variable precipitation showed higher effect on growth in diameter of the two sites in the average temperature, the management of the area with silvopastoral system does not alter the average growth in diameter, however, there were differences in the chronologies between the two areas, reiterating the need for knowledge of area history in carrying out this type of analysis for purposes of production and conservation.

**Key - words:** dendrochronology; precipitation; soil quality; silvopastoral systems.

## INTRODUÇÃO GERAL

As florestas naturais brasileiras vêm passando por processos contínuos de supressão de sua cobertura vegetal para extração de matéria prima para indústria madeireira desde a colonização, e mais recentemente, devido à pressão demográfica e expansão da agricultura e pecuária extensiva (MAZON, 2014). De acordo com Sanquetta (2005) a Floresta Ombrófila Mista (FOM) no Paraná foi amplamente explorada por colonizadores europeus a partir do final do século XIX, o que impulsionou a economia do estado, este autor destaca restarem pouco mais de 1% de remanescentes da FOM em processos avançados de sucessão, os quais normalmente se encontram em unidades de conservação ou em áreas pouco transitáveis.

Os sistemas agroflorestais vêm se destacando como formas sustentáveis de produção para o meio rural, estes sistemas apresentam como objetivo promover uma ação conjunta de técnicas para o uso da terra na qual se combinam a manutenção de espécies lenhosas para retirada de madeira ou outros produtos florestais, o cultivo agrícola e/ou pecuário, com ganhos econômicos e ecológicos (ANDRADE et al., 2012).

Sistemas silvipastoris são tipos de sistemas agroflorestais que contemplam a produção florestal e pecuária somente, sendo cada vez mais reconhecidos pelo papel que desempenham nos benefícios da manutenção da biodiversidade nas propriedades, melhoria na qualidade do solo comparativamente a sistemas não integrados e ganhos econômicos oriundos da comercialização de produtos diversos oriundos destes sistemas (SILVA e GOMES, 2007).

O presente estudo foi desenvolvido com a finalidade de verificar os possíveis efeitos de um sistema silvipastoril implantado sob remanescente de floresta nativa sobre fatores ambientais e silviculturais em relação a áreas em processo de regeneração natural, e, buscando assim gerar informações que possam auxiliar na tomada de decisão quanto à criação e manutenção destes sistemas na FOM. Sendo assim, esta dissertação foi redigida em dois capítulos:

No capítulo I são analisados os indicadores de qualidade física do solo, nas quais é possível inferir sobre os efeitos nesta variável em sistema silvipastoril e na área em processo de sucessão secundária; No capítulo II são estudados os efeitos dos locais sobre o crescimento e geração das cronologias de crescimento da espécie *A. angustifolia* no período de 1990 a 2013, além do efeito das variáveis climáticas temperatura e precipitação sobre estas cronologias.

# CAPÍTULO I: DENDROCRONOLOGIA DE *Araucaria angustifolia* SOB SISTEMA SILVIPASTORIL E FLORESTA SECUNDÁRIA

## RESUMO

A espécie *Araucaria angustifolia* é característica da Floresta Ombrófila Mista, apresentando caráter marcante nesta tipologia florestal. Estudos dendrocronológicos com espécies nativas apresentam dados que geram informações relevantes para o manejo conservacionista e para a produção, além de potencial uso na reconstrução climática da região. O objetivo do presente estudo foi verificar o incremento diamétrico anual de *A. angustifolia* e a influência sobre este ocasionada pelas variáveis climáticas: temperatura média do ar e precipitação acumulada, mensuradas na região de Guarapuava-PR nos últimos 23 anos, além de verificar possível influência do manejo com sistema silvipastoril com espécies nativas e espaçamento aleatório (SSP) comparativamente a uma área de floresta em estágio secundário de regeneração (FS) na geração das cronologias de crescimento. Foram coletadas amostras não destrutivas em 60 indivíduos de *A. angustifolia* de diferentes diâmetros por local. As medições dos anéis anuais foram efetuadas em programa computacional por meio das fotos digitalizadas das amostras. A datação cruzada e geração da série *máster* foram realizadas com o uso do programa COFECHA e os índices estandarizados foram gerados pela divisão dos valores reais pelos respectivos valores em uma regressão linear ajustada. Com os resultados verificou-se que não houve diferença entre os incrementos médios anuais, sendo estes de 0,9 e 0,91 cm ano<sup>-1</sup> para as áreas SSP e FS respectivamente. Porém, a menor classe diamétrica testada (5-15 cm) apresentou incremento menor em relação às demais em ambos os locais. A precipitação apresentou correlação significativa somente no mês de outubro, nos dois locais, enquanto a temperatura média em outubro e janeiro demonstrou correlação significativa negativa para a área FS, o que pode ser devido à formação de microclima mais frio ocasionado por períodos mais chuvosos se situarem nestes meses, podendo diminuir o crescimento em relação à área SSP a qual é menos densa. Embora as correlações anuais não fossem significativas em ambos os locais para as duas variáveis, a precipitação apresentou maior correlação, sendo influente no crescimento anual de *A. angustifolia* na região, em áreas manejadas ou em regeneração.

**Palavras – chave:** crescimento diamétrico; temperatura; precipitação; manejo silvipastoril.

## CHAPTER I: DENDROCHRONOLOGY OF THE *Araucaria angustifolia* UNDER SILVOPASTORIL SYSTEM AND FOREST SECONDARY

### ABSTRACT

The species *Araucaria angustifolia* is characteristic of Araucaria forest, with remarkable character in this forest type. Dendrochronological studies with native species present data that generate information relevant to the conservation management and production, and potential use in climate reconstruction of the region. The aim of this study was to determine the annual diameter increment of *A. angustifolia* and the influence this caused by climate variables mean air temperature and accumulated precipitation measured the Guarapuava-PR region in the last 23 years, in addition to checking possible influence of the management with Silvopastoril system with native species and random spacing (SSP) compared to an area of forest regeneration in secondary stage (FS) in the generation of growth chronologies. Non-destructive samples were collected from 60 individuals of *A. angustifolia* of different diameters by location. Measurements of the annual rings were made in a computer program by means of scanned photos of the samples. Cross-dating and generation of master series were performed using the program COFECHA and estandarizados indexes. After the methodological procedures of construction of timelines, remaining 14 trees composing the master sets of each site. With the results, it appears that there was no difference between the mean annual increments, which are 0.9 and 0.91 cm ano<sup>-1</sup> for the SSP areas and FS respectively. However, the lowest tested diameter class (5-15 cm) showed a lower increase compared to the other in both places. The rainfall correlated significantly only in October, in both locations, while the average temperature in October and January showed significant negative correlation to the FS area, which may be due to cooler microclimate formation caused by the wettest periods are situated these months and may slow the growth in relation to the SSP area which is less dense. Although the annual correlations were not significant at both locations for the two variables, precipitation showed a higher correlation, being influential in the annual growth of *A. angustifolia* in the region, in managed areas or regeneration.

**Key - words:** diametric growth; temperature; precipitation; silvopastoril management.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a expansão da atividade agropecuária sobre as áreas de floresta, aliada ao tradicional uso exploratório das espécies madeireiras nativas, veio a dificultar a manutenção e conservação de diversas espécies florestais. A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze popularmente conhecida como Pinheiro-do-Paraná se apresenta como árvore símbolo deste estado, sendo uma espécie bastante característica da Floresta Ombrófila Mista (FOM), presente de forma marcante em áreas com esta tipologia florestal e em áreas de transição. Atualmente, o cenário encontrado na FOM é de fragmentos de remanescentes florestais, em sua maioria de tamanho reduzido e entre áreas antropizadas (STEPKA, 2012).

A pesquisa florestal tem evoluído no sentido do manejo destas espécies com madeira de alta qualidade de forma racional, de forma que tem se verificado um avanço no sentido de estudos de técnicas agroflorestais. Altieri (2010) destaca a utilização de sistemas agroflorestais (SAFs) a exemplo dos sistemas silvipastoris, como uma alternativa viável a fim de aumentar a produtividade dos sistemas agropecuários elevando os níveis de sustentabilidade e beneficiando no aumento da biodiversidade no sistema.

Neste sentido, espécies nativas de valor econômico, a exemplo da *A. angustifolia*, podem ser alternativas às espécies exóticas na utilização de sistemas silvipastoris em propriedades rurais, sendo necessários assim, estudos relacionados a fatores que afetem o seu crescimento e conseqüentemente a sua produção. Neste contexto, a dendrocronologia se apresenta como uma ferramenta de estudo da idade das árvores através dos anéis de crescimento anuais destas, sendo utilizadas na verificação de alterações climáticas passadas e no estudo de fatores ecológicos associados ao crescimento das árvores, fato possível devido à espessura dos anéis de crescimento das árvores variarem entre os anos em função dos efeitos específicos do meio, atuando sobre a atividade cambial (FRITTS, 1976).

Estudos dendrocronológicos efetuados com *A. angustifolia* por vezes demonstram existir correlação entre o clima e os anéis de crescimento. Embora existam diversos trabalhos correlacionando o clima e o crescimento de araucária, geralmente ocorre grande variação neste efeito entre os diferentes locais, além de, na maioria destes estudos os alvos das pesquisas serem florestas maduras, sem que sejam feitas comparações com áreas florestais próximas que apresentem algum tipo de manejo, a exemplo de sistemas silvipastoris que apresentem esta espécie.

Assim, na presente pesquisa buscou-se comparar duas áreas vizinhas, sendo uma utilizada com manejo de sistema silvipastoril com espécies nativas, e outra uma floresta secundária em processo de regeneração há cerca de 20 anos. Analisaram-se nos dois locais as taxas de incremento e a influência do clima sobre o crescimento em diâmetro de *A. angustifolia* a fim de encontrar possíveis diferenças oriundas do sistema de manejo agroflorestal empregado no local.

A hipótese considerada foi de que o crescimento diamétrico de *A. angustifolia* ocorre de forma semelhante em área com sistema silvipastoril e com floresta em estágio secundária de regeneração. A segunda hipótese refere-se ao clima apresentar influência significativa sobre o crescimento desta espécie em ambos os locais.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Realizar estudos dendrocronológicos a fim de verificar o incremento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* e a influência exercida pelo clima sobre este componente de produção florestal em área com manejo silvipastoril em comparação a área sob floresta secundária.

### 2.2 Objetivos específicos

- Verificar as diferenças no crescimento em diâmetro de *A. angustifolia* e sua variação entre classes diamétricas entre área com manejo em sistema silvipastoril e área isolada deste manejo a 20 anos, se encontrando em estágio secundário de regeneração;
- Identificar possíveis correlações entre o crescimento em diâmetro de *A. angustifolia* e variáveis climáticas: temperatura média do ar e precipitação acumulada, na região de Guarapuava-PR;
- Avaliar a existência de período definido do ano (meses) que demonstram maior correlação entre as variáveis climáticas e o crescimento em diâmetro;
- Verificar possíveis diferenças entre a influência do clima sobre o crescimento de *A. angustifolia* nas áreas com Sistema Silvipastoril e Floresta Secundária.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 O Pinheiro-do-Paraná

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze, popularmente conhecida como pinheiro brasileiro ou pinheiro-do-paraná é uma gimnosperma pertencente à família Araucariaceae. De acordo com Mattos et al. (2010) esta espécie é bastante característica da Floresta Ombrófila Mista, também conhecida como Floresta com Araucária, sendo esta uma mistura de floras de origens temperada (austro-brasileira) e tropical (afro-brasileira), porém também ocorre geralmente em menor intensidade em outras formações florestais em transição com a Floresta Ombrófila Mista.

A Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucária cobria originalmente uma área de 175 mil km<sup>2</sup>, ocorrendo em especial na região sul do Brasil com algumas áreas ocasionais no estado de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, porém, a intensidade da exploração madeireira, desmatamentos e queimadas, substituição da vegetação por pastagens, agricultura, reflorestamentos homogêneos com espécies exóticas e a ampliação das zonas urbanas provocaram uma grande redução das áreas de florestas originais, as quais perfazem aproximadamente 0,7 % da área original (MEDEIROS, et al., 2005).

Segundo Carvalho (2003) os indivíduos adultos de *A. angustifolia* têm entre 20 e 40 m de altura; tronco único, ereto, cilíndrico, com diâmetro de 1 a 2 m; casca resinosa com aproximadamente 15 cm de largura; copa umbeliforme com pseudo-verticilos agrupados na porção apical e ramos agrupados nas proximidades distais dos pseudo verticilos. As acículas são verde escuras, lanceoladas, com até 6 cm de comprimento por 1 cm de largura, com a presença de espinho apical. Os indivíduos jovens frequentemente apresentam o formato da copa cônica, e com a presença de pseudo-verticilos também em porções mais basais do tronco. O sistema radicular desta espécie caracteriza-se por uma raiz pivotante bem desenvolvida e raízes finas próximas à superfície.

O mesmo autor define que esta espécie é uma planta dióica, apresentando florescimento visível o ano todo nos estróbilos femininos e nos meses de agosto a janeiro nos estróbilos masculinos, a polinização se dá principalmente pelo vento, sendo que a frutificação ocorre de dois anos após a polinização, geralmente de fevereiro a dezembro dependendo da variedade e da região, no Paraná esta se situa principalmente entre abril e junho. Apresenta pseudofrutos

conhecidos como pinha (ovário), a qual possui uma quantidade variável de sementes (5 a 150), que são chamadas de pinhões e apresentam amêndoas ricas em amido e com alto teor de aminoácidos. A dispersão das sementes é principalmente barocórica, limitada de 60 a 80 m de distância da árvore, e também pode ser zoocórica, neste caso, efetuada por pássaros e roedores.

O lenho apresenta coloração normalmente amarelo tendendo ao branco, em alguns casos podendo ter tonalidades róseas ou levemente pardacentas, ou ainda manchas avermelhadas advindas de traumatismos. O lenho é formado por traqueídes de seção poligonal arredondada e parênquima axial ausente, os anéis de crescimento são visíveis a olho nu, com transição gradual entre o lenho tardio e o inicial, demarcados por fileiras de traqueídes de paredes ligeiramente mais espessas (MEDEIROS, 2005).

Quanto às características ecológicas da Araucária, Carvalho (2003) destaca que a espécie é uma secundária longeva, porém, com características de pioneira e heliófita, sendo colonizadora de campos, inclusive em solos rasos. A ocorrência natural da espécie segundo Carvalho (2003) está entre as latitudes de 19° 15' S (Minas Gerais) e 31° 30' S (Rio Grande do Sul), enquanto a longitude estende-se de 41° 30' W a 54° 30' E. A variação de altitude é de 500 a 2300 m, em especial de 500 a 1800 m. Ainda segundo este autor, a espécie atinge em média 140 a 250 anos de idade, existindo exemplares raros de até 380 anos.

Os tipos climáticos na região onde ocorre a araucária vão do sul (Cfb) ao norte (Cwb) segundo a classificação climática de Köppen. As temperaturas médias anuais variam de 12°C a 18°C, sendo que a espécie suporta até -10°C, caracterizando-se, portanto, como de clima temperado, predominantemente ocorrendo em clima subtropical úmido, sem estação seca, com verões quentes ou frescos. A variação anual na precipitação pluviométrica oscila entre 1.500 e 1.700 mm, podendo superar os 2.000 mm em algumas regiões (SILVA et al., 2001).

Quanto às classes de solos, a araucária ocorre desde os menos férteis, originados do arenito, até os mais férteis, originados dos basaltos, porém apresenta melhor desenvolvimento em solos férteis e profundos (SILVA et al., 2001). Quando se destaca a *A. angustifolia* quanto às características físicas do solo ideais para a espécie, Silva et al. (2001) afirmam que o tipo e a espessura do horizonte A são significativamente correlacionadas com o crescimento das árvores, sendo que, solos com horizonte A mais profundo tem se mostrado ideais para o crescimento da espécie.

A profundidade do solo é destacada como um dos fatores mais importantes para o bom desenvolvimento da araucária, devido à espécie apresentar raiz pivotante e baixa adaptabilidade a solos rasos (SILVA, 2001). Este autor destaca ainda que esta necessidade de solos profundos possivelmente esteja relacionada com a exigência a altos níveis de retenção de umidade no solo. A porosidade de aeração e macroporosidade são consideradas limitantes no crescimento da araucária, sendo atribuídos 37% do incremento total a porosidade total e ao conteúdo de água no solo (BLUM, 1980).

Dentre os usos econômicos da espécie podem-se citar a produção de madeira, a qual é especialmente utilizada em forros e assoalhos, a resina devido ao fornecimento de óleos diversos, além das sementes comumente conhecidas como pinhões que são bastante apreciadas pelos animais e pelo homem (CARVALHO, 2003).

### 3.1.1 Crescimento diâ métrico de *A. angustifolia*

O crescimento é definido pelo aumento das dimensões, do que se referem às árvores, estas dimensões são principalmente o diâmetro, a altura, o volume, a biomassa e a área basal, de um ou mais indivíduos em uma floresta sob um determinado período de tempo (PRODAN et al., 1997). O crescimento linear (elongação) de todas as partes da árvore é resultante da atividade do meristema primário. Já o crescimento em diâmetro (aumento da espessura) é proveniente da atividade do meristema secundário ou câmbio (HUSCH et al., 1982).

Saber expressar o crescimento de árvores nativas e povoamentos florestais é fundamental para o planejamento da atividade florestal (SCOLFORO, 1998). O estudo de incrementos diâ métricos torna-se uma ferramenta indispensável, uma vez que apresenta o quanto uma floresta e/ou determinada espécie cresceu em diâmetro por um determinado período de tempo. Entretanto, pesquisas desta natureza em nível de incrementos diâ métricos são raras, principalmente para espécies nativas de elevado valor comercial e científico, como é o caso da *A. angustifolia* (MACHADO et al., 2014).

No Brasil, estudos avaliando o incremento diâ métrico desta espécie vêm colaborando para obtenção de diversas informações. Trabalhos como Schaaf et al. (2005) e Zanon (2005) demonstram crescimento periódico mensal de 0,32 cm.ano<sup>-1</sup> e 0,24 cm.ano<sup>-1</sup> para os respectivos autores. Mattos et al. (2007a) avaliando o crescimento em diâmetro durante 10 anos em 32 arvores de *A. angustifolia* no município de Caçador-SC, usando amostras não destrutivas, relataram grande variação no incremento diâ métrico anual, com valores variando

de 0,15 cm ano<sup>-1</sup> até 1,15 cm ano<sup>-1</sup>. Mattos et al. (2007b) relataram elevados valores de incrementos diamétricos, sendo estes entre 0,7 cm ano<sup>-1</sup> e 1,3 cm ano<sup>-1</sup>.

Entretanto, é importante salientar que a variação entre estes valores se deve principalmente ao fato do crescimento das árvores ser influenciado pelas características da espécie no que se refere a estrutura etária do povoamento e ainda a relação com o ambiente, pois vários são os fatores ambientais que afetam o desenvolvimento das árvores, podendo-se destacar fatores climáticos, pedológicos, topográficas e competição (HUSCH et al. 1982; PRODAN et al., 1997).

### **3.2 Formação dos anéis de crescimento em árvores**

Encinas et al. (2005) definem os anéis de crescimento como o resultado da deposição sucessiva de camadas de tecidos lenhosos no fuste, em razão da atividade cambial periódica, sendo que, a atividade do cambio ano a ano vai acrescentando camadas justapostas que irão formar o anel de crescimento por meio da estruturação do material lenhoso.

Segundo Lauw (2011) as árvores de clima temperado têm ritmos diferentes ao longo do ciclo de crescimento, sendo que, na primavera as plantas reiniciam a sua atividade cambial, após o inverno, que caracteriza um período de dormência. O lenho de primavera é caracterizado por paredes celulares delgadas e lúmens grandes, que vistos na seção transversal apresentam coloração clara. Este mesmo autor relata que o lenho de outono ou de fim de estação, corresponde às células que vão diminuindo sua atividade vital à medida que o fim do período vegetativo se aproxima, tornando as paredes celulares mais espessas e os lúmens menores, deixando o conjunto com um aspecto mais escuro, sendo esta alternância de cores o que permite distinguir o crescimento relativo a cada ano.

Esta diferenciação dos anéis, em geral, só é utilizada em espécies que possuem esta característica facilmente observável, contudo, esta diferenciação dos anéis pode ser influenciada por outras características como a idade, espaçamento e sítio (MUNARETO, 2007). Segundo Finger (1992) durante a contagem dos anéis é necessário cuidado relativo à existência de falsos anéis, que poderão induzir a atribuição de mais um ano, tal distinção é feita verificando-se a continuidade do anel em uma seção transversal, ou, no caso de amostras não-destrutivas, pela coleta de mais de um rolo de incremento por árvore.

As variações dos elementos meteorológicos apresentam-se de forma mais pronunciada em áreas de clima temperado em relação a áreas de clima tropical e subtropical, no que se refere ao crescimento das árvores, no entanto, estudos de fenologia têm demonstrado uma nítida periodicidade destes eventos na produção e queda das folhas, frutificação e floração, ocasionadas devido a fatores climáticos, refletindo na atividade cambial e na formação de anéis de crescimento (ZANON e FINGER, 2010).

### **3.3 Dendrocronologia**

A dendrocronologia é definida com o estudo dos anéis de crescimento das árvores, determinando assim a idade destas, suas bases teóricas vem desde o século XVI, com Leonardo Da Vinci. No entanto, somente no século XX a dendrocronologia é solidificada como ciência, principalmente devido à influência de um astrônomo norte-americano chamado Andrew E. Douglass, que utilizou séries temporais de anéis de crescimento para relacioná-las com fenômenos climáticos e astronômicos, datando madeiras arqueológicas (FRITTS, 1976).

Oliveira (2007) destaca que inúmeros fatores ambientais bióticos e abióticos regulam o crescimento das plantas, desta forma, anéis de crescimento são como “arquivos históricos” das condições ambientais uma vez que suas características também variam em função do ambiente, porém, a decodificação da informação existente nestes anéis apresenta-se de forma complexa devido à multiplicidade destes fatores ambientais, e principalmente da interação entre eles. Portanto, conhecer as respostas das plantas às condições ambientais é fundamental para interpretar os padrões temporais de variação dos anéis de crescimento.

A dendroclimatologia estuda a reconstrução climática através da cronologia da largura dos anéis de crescimento, baseando-se no princípio da extração dos registros das variáveis climáticas gravadas nos anéis de crescimento, estes estudos vêm sendo usados para determinar ou verificar fatores climáticos que prevalecem em um dado período em uma determinada região (OLIVEIRA, et al., 2011). Outro ramo da dendrocronologia bastante estudado, a dendroecologia relaciona as informações contidas nos anéis de crescimento e a ocorrência de fenômenos ecológicos e ambientais, ou seja, estuda os fatores ecológicos típicos de habitats, como a concorrência, poluição, declínio da floresta, entre outros (LAUW, 2011).

A dendrocronologia baseia-se sob alguns princípios (FRITTS, 1976), sendo estes:

- a) Princípio da uniformidade: os mesmos processos físicos e biológicos que afetam os padrões de crescimento das árvores na atualidade, afetaram no passado;
- b) Princípio dos fatores limitantes: o crescimento dos anéis de uma árvore é mais influenciado pelo fator ambiental mais limitante, por exemplo, a precipitação em regiões secas, ou ainda a temperatura em maiores latitudes;
- c) Princípio do crescimento agregado da árvore: a origem da variação pode ser decomposta por um conjunto de fatores ambientais ou bióticos;
- d) Princípio da amplitude ecológica: as espécies são mais sensíveis a alterações climáticas quanto mais perto estiverem dos limites de altitude e latitude de sua área de habitat;
- e) Princípio da seleção do local: os locais mais favoráveis para a dendrocronologia podem ser identificados e selecionados com base em critérios que produzirão séries de anéis de crescimento sensíveis à variável ambiental em estudo;
- f) Princípio da repetição: a obtenção de mais de um raio por árvore e mais de uma árvore por local diminui a influência de fatores ambientais que não estão sendo estudado interferirem nos resultados;
- g) Princípio da datação cruzada: é o princípio fundamental da dendrocronologia, nele, é definido que a correspondência de padrões da largura dos anéis entre diversas séries de anéis, este permite a identificação do ano exato em que cada anel da árvore foi formado.

A datação cruzada foi possível devido à existência de um padrão de espessura dos anéis de crescimento em diferentes árvores da mesma espécie crescendo em um mesmo período, em diferentes povoamentos florestais. A datação cruzada das amostras do lenho de árvores permite determinar o ano de formação dos anéis de crescimento e relacioná-los com os anos do calendário (MEDEIROS, 2005).

O processo de datação cruzada das amostras é efetuado considerando dois raios por árvore e a sincronia das diferentes séries de cada árvore. Desta forma, a datação cruzada é realizada também entre as diferentes árvores, a fim de se verificar picos de crescimento comuns, e assim caracterizar anos típicos, ou seja, anos em que as árvores tiveram crescimento similar (STEPKA, 2012).

Segundo Stokes e Smiley (1968) na datação é necessário que apenas um anel seja gerado por cada estação de crescimento, sendo este o motivo do termo “anel anual”, devendo-se descartar espécies que geram mais de um anel por ano, valendo-se que mesmo que o crescimento estacional seja o resultado da interação de muitos fatores, apenas um fator

ambiental geralmente se apresenta como limitante do crescimento. Estes autores destacam que, a variação neste fator climático entre os anos se reflete na largura dos anéis, porém esta largura não necessariamente é diretamente proporcional as mudanças experimentadas por esse fator limitante.

A forma como essas informações são usadas tratam do estudo dos problemas do presente por meio dos anéis produzidos em anos anteriores, sejam os fatores que interferiram no crescimento e geraram estes problemas sendo climáticos ou ecológicos, assim, é possível prever mudanças no ambiente local da avaliação e alterar o manejo adotado (ABRAMS e COPENHEAVER, 1999).

### **3.4 Fatores que afetam o crescimento das árvores**

O crescimento de uma árvore é definido como o aumento gradativo de tamanho de raízes, copa e tronco, em resposta não somente aos processos naturais de vida, como também a estímulos ambientais (ZANON E FINGER, 2010). Portanto, o crescimento das árvores depende dos fatores ambientais como luz, temperatura e umidade; espaços físicos; edáficos; topográficos; tamanho e constituição genética das árvores; histórico de desenvolvimento da floresta; além de fatores relacionados à competição como, por exemplo, a densidade do povoamento (POORTER E BANGERS, 1993; ANDRADE, et al., 2007).

De acordo com Higuschi et al. (2003) o crescimento diamétrico das árvores varia entre e dentro das espécies em função não só da idade, como das estações do ano e das condições microclimáticas. Pesquisas evidenciam que o crescimento em algumas espécies florestais tropicais e subtropicais apresenta-se de forma intermitente, afetando os processos fisiológicos das árvores, o que reflete na atividade cambial.

#### **3.4.1 Temperatura**

Campos (1970) destaca que a radiação solar constitui a fonte primária de energia do processo fotossintético, sendo assim, o efeito da radiação sobre o crescimento das plantas pode ser manifestada de várias formas, seja através da intensidade, qualidade ou duração. Como esta radiação é transformada em calor, a temperatura pode tornar-se um fator climático decisivo no crescimento das árvores, em especial em clima temperado. Segundo este mesmo autor, a quantidade de radiação incidente é variável em função da altitude, latitude e estação

do ano e assim, conseqüentemente, a temperatura também sofre oscilações segundo estas condições.

Lauw (2011) destaca que um fator climático pode afetar tanto as características estruturais como, por exemplo, apenas a espessura do anel, como também pode afetar processos fisiológicos e assim influenciar no crescimento, neste contexto, a temperatura atua afetando o crescimento devido a esta influenciar na parada e na retomada da atividade cambial, podendo estes ocorrer em épocas do ano distintas entre diferentes anos e, assim, formando-se anéis com espessuras distintas, logo, a temperatura estaria diretamente relacionada com a espessura dos anéis.

Temperaturas elevadas durante a estação de crescimento também são consideradas fatores limitantes, uma vez que estas podem limitar a produção de enzimas e hormônios que são necessários para que determinados processos fisiológicos ocorram, além de, acentuar a perda de água pelas plantas, em uma época em que muitas vezes, esta já é escassa, afetando assim o crescimento (FRITTS, 1976). Ainda segundo este autor, temperaturas baixas extremas durante o inverno, mesmo sob um prevaecimento de temperaturas abaixo de zero durante um longo período, podem não afetar processos fisiológicos, não havendo relação deste fator com a espessura dos anéis, no entanto, se houverem temperaturas mais elevadas durante o inverno poderá haver um descongelamento dos tecidos ocasionando retomada da atividade fisiológica, o que gera uma correlação entre as temperaturas de inverno e a espessura dos anéis de crescimento.

A sazonalidade das temperaturas encontrada em regiões subtropicais do Brasil explicou a variação encontrada nos anéis de crescimento de *A. angustifolia* (OLIVEIRA, et al., 2010) e *Cedrela fissilis* Vell. (DUNISCH, 2005). Mattos et al. (2007a) destacou que apesar de as condições climáticas locais não terem influenciado de forma pronunciada no crescimento de seis espécies da Floresta Ombrófila Mista, entre elas *A. angustifolia*, a ocorrência de um ano de baixa precipitação na estação de crescimento seguido de um período de baixas temperaturas no inverno seguinte acarretou em uma diminuição no crescimento das árvores no mesmo ano ou no ano seguinte.

Zanon e Finger (2010) verificaram que durante a estação de crescimento, o aumento da temperatura correspondia ao maior crescimento, o qual era cessado ou reduzido sob temperaturas mais baixas, ocasiões em que provavelmente ocorria um excesso de água no solo, sendo assim, os maiores incrementos em diâmetro das árvores ocorriam nos meses de

maiores temperaturas médias mensais. Nos meses de inverno, ou seja, fora da estação de crescimento, a redução da temperatura parece ser o elemento causador da interrupção do crescimento, o que é justificado devido à precipitação ser abundante nesta época do ano no sul do Brasil.

### 3.4.2 Precipitação

A água está relacionada ao crescimento devido a sua participação em todos os processos fisiológicos e bioquímicos, sendo a principal constituinte dos tecidos vegetais, responsável pela turgescência celular, reacionante em processos hidrolíticos e atuando como meio de dissolução de sais e outras substâncias, criando um sistema dissolvente contínuo no interior da planta (CAMPOS, 1970). Este mesmo autor destaca ainda que, o crescimento não é diretamente controlado pelo teor de umidade do solo, mas sim, pelo balanço de água na planta, o qual é afetado do teor de umidade no solo e na atmosfera, no entanto, se houver déficit de água interno na planta, ocorre uma redução no crescimento como resposta ao fechamento estomático e a diminuição na divisão e alongamento celular.

Em regiões tropicais, a redução da atividade cambial se deve a diminuição da precipitação, ou ainda a inundação, no caso de áreas alagáveis. Em 1931 foi realizada a primeira cronologia de anéis anuais com mais de 400 anos nos trópicos, utilizando árvores de *Tectona grandis* L. f. (Verbenaceae), um autor chamado Berlege conseguiu relacionar o regime de precipitação na Indonésia, com os índices de incremento da espécie, destaca-se que antes deste fato ocorrer, este tipo de estudo limitava-se a regiões temperadas como Europa e EUA (ROSA, 2008).

A variação do regime de chuvas foi o fator determinante na periodicidade da formação do xilema em diversos estudos. Oliveira et al. (2011) estudando a densidade dos anéis de crescimento em *Eucalyptus grandis*, encontrou resultados que demonstraram a precipitação como sendo significativamente correlacionada com o incremento anual desta espécie, sendo que, quanto maiores os valores de precipitação, maior o crescimento anual encontrado.

Estudando seis espécies arbóreas em Floresta Ombrófila Mista, entre elas *A. angustifolia*, Mattos et al., (2007b) concluiu que o crescimento destas espécies, de uma forma geral, foi pouco influenciado pelas condições climáticas locais, no entanto, houve uma redução do crescimento após um ano em que houve baixa precipitação e umidade relativa durante o início da primavera.

Zanon e Finger (2010) encontraram resultados que evidenciaram a precipitação como sendo um fator que influenciou positivamente no incremento médio anual, ou seja, no crescimento de *A. angustifolia*, sendo que, nos meses em que ocorreu uma quantidade de chuvas abaixo da média durante o final do verão, o crescimento foi bastante reduzido, segundo estes autores, estas respostas ocorreram, pois à medida que o solo vai secando nos meses de menor pluviosidade durante a estação de crescimento, todos os processos fisiológicos vão sendo restringidos.

Neste contexto, Maria (2002) verificou que a redução da taxa de incremento ocorria geralmente a partir de março nas espécies *Cedrela fissilis*, *Tabebuia serratifolia*, *Cariniana estrellensis*, *Copaifera langsdorffi*, *Balfourodendrum riedelianum* e *Centrolibium tomentosum*, atribuindo essa redução no crescimento à diminuição ou cessamento da atividade cambial decorrente do início do déficit hídrico, em conjunto com as temperaturas mais baixas que antecediam o início do inverno.

Spthelf et al. (2000) encontraram resultados que evidenciaram não haver um padrão coerente entre as condições hídricas e a variação no crescimento da espécie *Ocotea pulchella*, porém, relatou que devido as amostras serem advindas de árvores que se encontram sob uma área alagável, o excesso e não o déficit hídrico se tornou a variável mais importante que conduziu a variações no crescimento diamétrico sob as condições avaliadas.

Segundo Bresson-Smith et al. (1997), em algumas regiões como no sul da Bahia, se torna difícil determinar a atividade periódica do câmbio vascular, pois, estes autores verificaram que apenas a precipitação estava diretamente relacionada com a taxa de crescimento em duas das cinco espécies estudadas, sendo que nas demais, o crescimento foi contínuo durante todo o período de estudo. Diversos autores verificaram a relação existente entre crescimento e precipitação, sendo que de uma forma geral, quanto maior a precipitação durante a estação de crescimento, maiores valores em incremento anual tendem a ser encontrados (ZANON e FINGER, 2010; FERREIRA, 2002).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se em uma propriedade particular no município de Turvo-PR, há cerca de 40 km de Guarapuava-PR, coordenadas 25°03'31''S – 51°32'04''W, fuso 22 do sistema Universal Transversa de Mercator. O município de Turvo, localizado Terceiro Planalto Paranaense, está sob domínio da Floresta Ombrófila Mista, localizada há 1080 metros de altitude, e, portanto, segundo o IBGE (2012) apresentando assim caráter de formação Alto Montana.

A propriedade em que se localiza a área de estudo apresenta um total de 26,4 hectares, no entanto, apenas 3,8 hectares foram amostrados em levantamento realizado por Mazon (2014), o qual forneceu as informações necessárias quanto ao número e distribuição na área de indivíduos de *A. angustifolia* para a realização deste estudo.

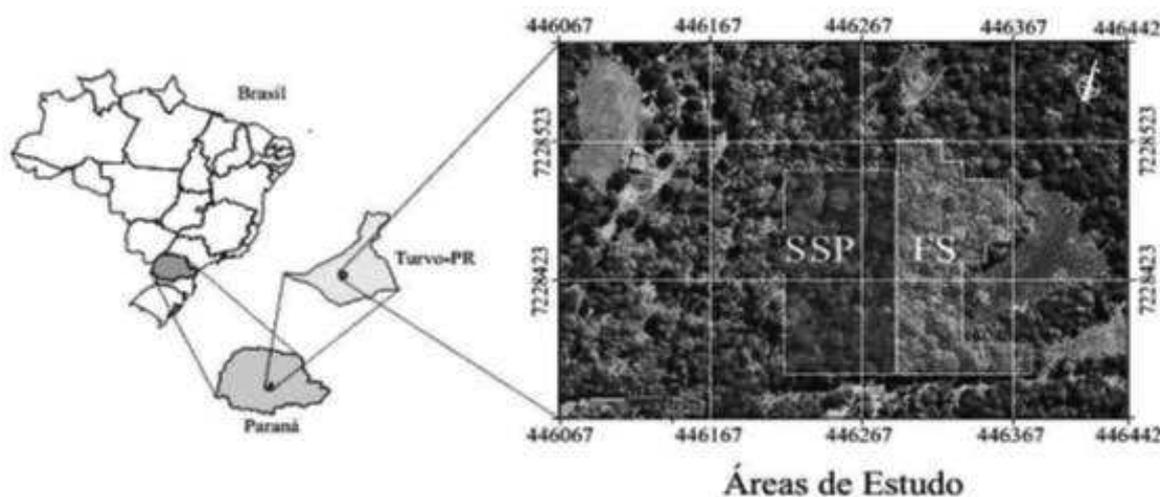
A propriedade foi adquirida em 1981 uma área onde anteriormente se praticava um antigo 'sistema faxinal', no entanto, não se sabe durante quanto tempo este foi o uso do local. De acordo com informações pessoais da proprietária, o antigo dono realizava a criação de diversos animais como bovinos, eqüinos, caprinos e suínos, extração de erva-mate e madeira, porém, não há evidências concretas desta área como sistema coletivo, embora esta seja uma grande possibilidade devido ao histórico de sistemas 'faxinais' na região e em especial no município, o que é ainda mais possível devido à grande proximidade da propriedade com a cidade e com também pela característica das propriedades vizinhas.

Embora antes da transição imobiliária (a qual ocorreu em meados da década de 80) houvesse extração madeireira na área, juntamente a outras atividades agropecuárias, salienta-se que ainda ocorrem alguns indivíduos arbóreos remanescentes desta época no local, o que pode ser verificado principalmente pelo grande porte de indivíduos de imbuia (*Ocotea porosa* (Ness) Barroso), algumas araucárias de maior diâmetro, entre outras espécies, além, claro, dos indivíduos que regeneraram posteriormente.

O histórico de uso da propriedade foi marcado pela busca de métodos conservacionistas de produção, sendo que, o 'sistema faxinal' foi base do modelo de produção aplicado até os dias atuais, no entanto, sem a característica socioeconômica de coletivismo que o define, ou seja, o modelo ecológico encontrado pode ser considerado como 'sistema faxinal', mesmo tratando-se de uma propriedade particular. Desta forma, devido à utilização

de pastagens com exploração pecuária entre árvores remanescentes da floresta, pode se definir o sistema de manejo como um SSP natural.

Há cerca de 20 anos (1993-1994) os proprietários isolaram uma área de três hectares, a fim de que houvesse regeneração natural, a qual mais tarde foi averbada como Reserva Legal da propriedade. Quanto ao restante da área, esta foi dividida em 24 piquetes utilizados com bovinocultura leiteira, com taxa de lotação variada (em torno de 25 animais), tal método permanece em uso até os dias atuais, embora o número de piquetes esteja reduzido a cinco. Paralelamente, foi realizado um adensamento da área dos piquetes com indivíduos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) em meio a vegetação nativa remanescente e regenerante, as quais são conduzidas e manejadas até os dias atuais. Na Figura 1 apresenta-se o mapa a localização e mapa das áreas amostradas.



**Figura 1.** Localização das áreas de estudo em Sistema Silvopastoril (SSP) e Floresta Secundária (FS) situadas no município de Turvo-PR.

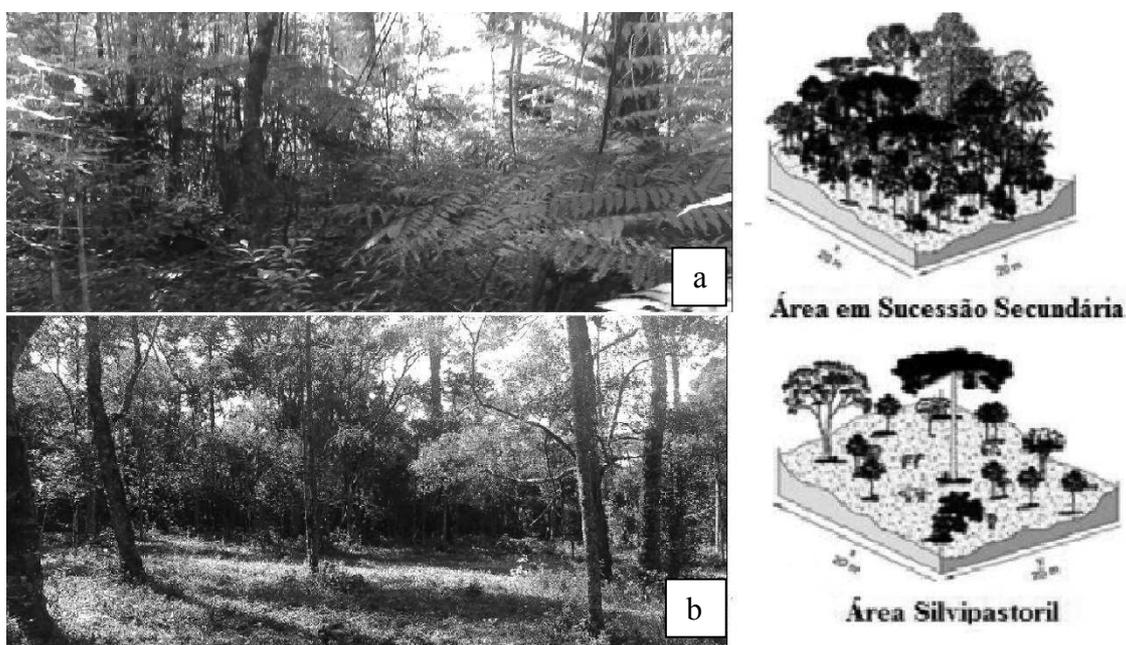
**Fonte:** Mazon (2014)

As áreas amostrais utilizados no trabalho foram as seguintes:

**Sistema silvipastoril (SSP):** Um piquete de dois ha composto por vegetação arbórea remanescente e regenerante, erva mate adensada, sendo todas as arbóreas em espaçamento aleatório, além de pastagens com diferentes espécies;

**Floresta Secundária (FS):** Uma parte da área da Floresta Secundária que compõe a Reserva legal da propriedade, sendo composta por 1,8 ha a qual foi isolada dos animais domésticos há cerca de 20 anos, formando assim um fragmento florestal em processo secundário de sucessão ecológica, onde não é mais verificada a presença de poáceas.

Abaixo do dossel há grande diferença ocasionada pela regeneração mais acentuada na área de Floresta Secundária, como pode ser verificado na Figura 2.



**Figura 2:** Imagens das formações florestais e diagramas ilustrativos das áreas amostrais: a) com floresta em processo de sucessão secundária correspondente a RL da propriedade e b) em sistema silvipastoril.

**Fonte:** Adaptado de Mazon (2014).

Mazon (2014) realizou o levantamento florístico desta mesma área de estudos, e, analisando dois hectares de cada uma das duas áreas, encontrou no SSP uma densidade de 580,5 indivíduos  $\text{ha}^{-1}$ , distribuídos em 23 famílias, 33 gêneros e 44 espécies, sendo que, a família Aquifoliaceae se destacou como a de maior número de indivíduos nesta área. Na área de FS este autor encontrou densidade de 1411,7 indivíduos  $\text{ha}^{-1}$ , distribuídos em 33 famílias, 52 gêneros e 68 espécies, este ainda, verificou que o maior número de espécies encontrado pertenceu ao grupo ecológico das secundárias iniciais em ambos os locais.

Com relação à área basal para DAP de inclusão  $\geq 5$  cm, Mazon (2014) verificou que o SSP apresentou o valor de 23,13  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ , sendo este valor menor que o encontrado na área FS, que apresentou o valor de 36,12  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ , este autor verificou ainda a distribuição diamétrica nos dois locais, de forma que, o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) médio na área SSP foi de 17,7 cm, enquanto na área FS este valor se situou em 13,8 cm, este destacou que embora houvesse maior porcentagem de indivíduos na FS nas classes diamétricas de 5 a 20 cm, quando se comparou as maiores classes diamétricas (80 a 130 cm), a porcentagem de indivíduos representantes em cada um dos dois locais foi a mesma.

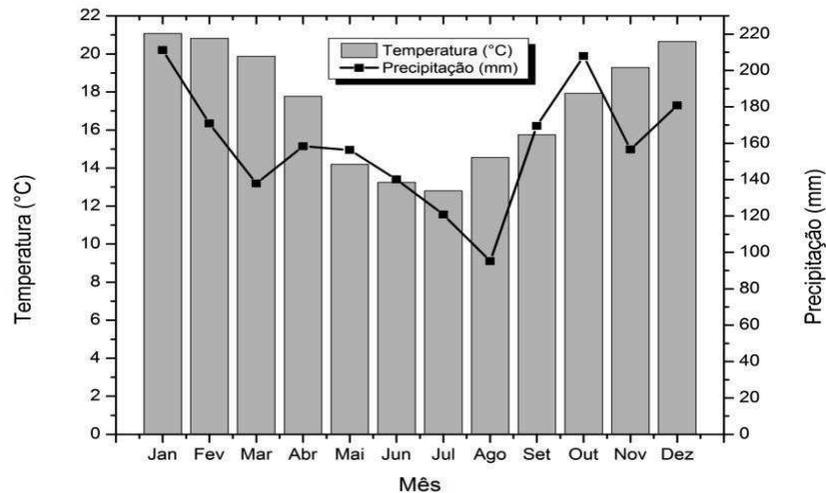
## 4.2 Condições edafo-climáticas da área de estudo

O solo da região onde se encontra a área de estudo é classificado segundo a EMBRAPA (2013) como sendo predominantemente Latossolo Bruno Distrófico, com textura argilosa, sendo que, este último parâmetro pode ser verificado na Tabela 1, juntamente às demais características químicas do solo nos locais testados. Destaca-se que o pH encontrado é considerado ácido, assim como a saturação por bases (V%) é bastante baixa, indicando que este solo não foi corrigido, e ainda apresenta condições muito próximas das de uma floresta natural da região.

**Tabela 1.** Características químicas e texturais do solo nas áreas de Floresta Secundária e Sistema Silvopastoril.

Prof. (cm)	pH	M.O	P	K	Ca	Mg	H + Al	V	Areia	Silte	Argila
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----				(%)	-----g kg <sup>-1</sup> -----		
Floresta Secundária											
0-20	4,0	45,6	1,7	0,08	1,7	1,3	9,65	24,0	250	180	570
20-40	4,0	44,3	1,6	0,06	1,8	1,0	9,65	22,7	250	160	580
40-60	4,0	42,3	1,4	0,05	0,7	1,3	8,32	19,9	250	170	590
Sistema Silvopastoril											
0-20	4,1	44,3	2,3	0,08	1,4	2,0	8,13	30,4	280	210	510
20-40	4,0	43,6	1,7	0,06	0,9	2,2	8,32	27,6	260	200	540
40-60	4,0	42,3	1,5	0,05	1,0	2,4	9,65	26,1	280	170	550

Quanto ao clima da região, segundo a classificação climática de Koppen-Geiger (1948), este é Subtropical Mesotérmico Úmido – Cfb, o qual é caracterizado pela ocorrência de verões frescos e tendência de chuvas bem distribuídas ao longo do ano, com precipitação média anual entre 1600 a 1800 mm e sem estação seca definida. Na Figura 3 apresentam-se as médias mensais dos últimos 30 anos da região estudada, considerado dados de arquivos da estação meteorológica da Unicentro/IAPAR.



**Figura 3.** Médias mensais de precipitação acumulada e temperatura média na região da área de estudo.

## 4.2 Análises dendrocronológicas

### 4.2.1 Coleta e preparo das amostras

A intensidade amostral utilizada foi definida em função de outros trabalhos realizados com a mesma espécie ou com espécies da mesma tipologia florestal, a exemplo de Rivera (2007) que trabalhando com 29 espécies na Floresta Ombrófila Mista utilizou 3 a 26 rolos de incremento por espécie e Stepka (2012) também na mesma tipologia florestal, que utilizou 30 indivíduos por espécie e em cada local. Logo, a intensidade amostral variou entre os diferentes trabalhos analisados, destaca-se a necessidade de eliminação de amostras ao longo das etapas de contagem dos anéis e datação cruzada como principal determinante a uma maior intensidade amostral.

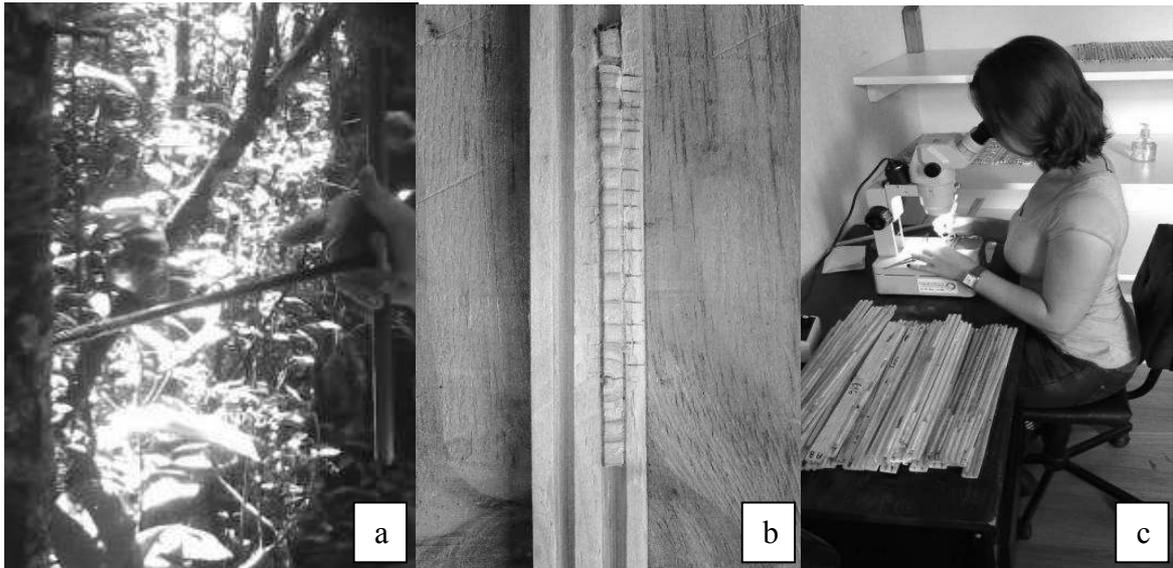
Foi realizada a coleta dos rolos de incremento em 60 indivíduos na área de Sistema Silvopastoril e outros 60 na área de Floresta Secundária, divididos igualmente entre seis classes diamétricas (CD) sendo estas: 5-10; 10-15; 15-20; 20-25; 25-30 e acima de 30 cm, gerando assim 10 indivíduos pra cada classe diamétrica em cada local. O critério de agrupamento das classes de diâmetro foi idêntico entre os dois locais, e realizado arbitrariamente, de forma que, pudesse abranger o mais próximo possível um mesmo número de indivíduos por classe diamétrica e por local.

A coleta das amostras foi realizada por meio da técnica não destrutiva, ou seja, por análise parcial de tronco. A fim de se padronizar a coleta dos rolos da mesma árvore, utilizou-se a mesma técnica utilizada por autores como Rivera (2007), Alvarado (2009) Stepka (2012) entre outros, em que os rolos são coletados a altura de 1,3 m, ou seja, no DAP (Diâmetro a Altura do Peito), de forma que fossem utilizadas duas repetições (raios) para cada árvore, sendo uma na direção Sul-Norte e outra na direção Leste-Oeste, as quais foram verificadas com o auxílio de uma bússola a campo. Esta metodologia apresenta a vantagem de redução dos erros de medição dos anéis em relação à coleta de apenas um rolo, o que pode refletir em uma avaliação mais real do incremento, conforme abordado por Stepka (2012).

A tradagem do tronco foi realizada por meio de um Trado de Pressler (dimensões de 5 mm diâmetro e 40 cm de comprimento), o qual pode ser visualizado na Figura 4 (a). Neste processo o trado é inserido em direção ao centro do tronco buscando atingir a medula. Vale ressaltar que nem sempre é possível que esta seja atingida, devido ao comprimento insuficiente do trado ou ainda a desvios em relação ao centro exato do tronco. Desta forma, nos indivíduos em que não foi possível a visualização da medula, efetuou-se a contagem dos anéis anuais até que se encontrasse a mudança no padrão circular do anel.

Os dois rolos coletados em cada árvore foram identificados e fixados com cola nos suportes, ao passo em que foi realizada a amarração de barbante nas amostras a fim de aumentar a fixação imediata e impedir o empenamento destas durante a secagem. A secagem ocorreu de forma natural durante o período correspondente ao fim de janeiro a meados de março de 2014. Ressalta-se nesta etapa que Stokes e Smiley (1968) defendem a secagem natural das amostras devido ao uso de estufa de ar forçado gerar maiores problemas de deformação das amostras.

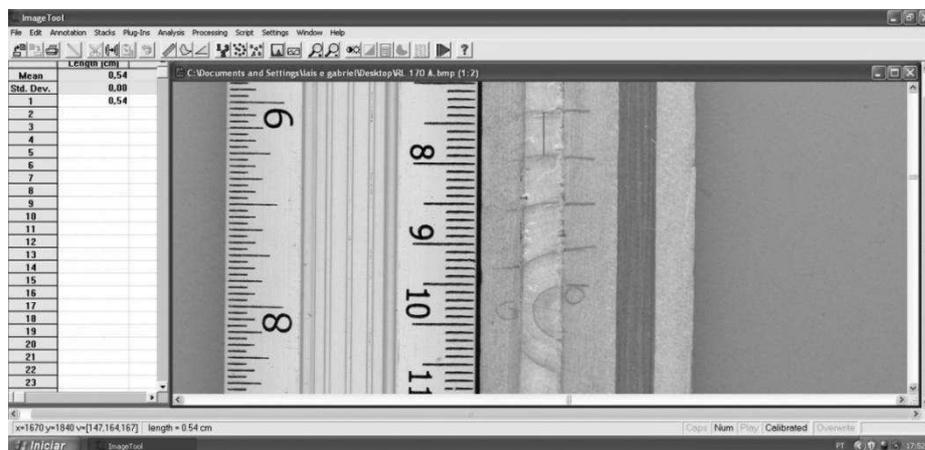
Após a secagem do material, realizou-se o lixamento da maneira de forma progressiva com seis diferentes graduações de lixa (80, 100, 150, 280, 400, e 600), para melhor visualização dos anéis de crescimento (STOKES e SMILEY, 1968). A Figura 4(b) apresenta uma amostra após a etapa de lixamento. Após esta etapa, as amostras foram examinadas sobre microscópio estereoscópico a fim de que fossem delimitados com maior exatidão os anéis de crescimento (FIGURA 4c).



**Figura 4.** (a) coleta das amostras; (b) amostra lixada e demarcada; (c) identificação dos anéis de difícil visualização

#### 4.2.2 Medição dos anéis de crescimento

Após a finalização da demarcação dos anéis, as seções transversais do lenho foram digitalizadas juntamente a uma régua milimetrada, em Scanner HP Scanjet G4050 com resolução de 600 megapixels. Em sequência, a largura dos anéis de crescimento previamente demarcados foi determinada através do software de análise de imagem Image Tool Alpha 3<sup>©</sup>. Neste método, a partir da calibração do software com uso da escala digitalizada (régua) e mediante a indicação manual de dois pontos, determina-se a distância entre os limites previamente demarcados, obtendo-se assim as larguras dos anéis de crescimento. A Figura 5 apresenta o programa de medição em execução.



**Figura 5.** Medição dos anéis de crescimento no programa Image Tool®.

Em sequência, os dados da largura dos anéis de crescimento gerados no software foram exportados para o Microsoft Office Excel para que fossem então analisados. Ressalta-se que o método acima descrito vem sendo utilizado em substituição à mesa de medição, a exemplo dos sistemas Velmex e LINTAB e seus respectivos programas de análise de dados.

A datação dos anéis foi realizada no sentido casca-medula, sendo que o primeiro anel foi datado como correspondente ao ano de 2013, significando que o anel iniciou seu crescimento na primavera de 2012 e cessou este no outono de 2013. Devido às amostras terem sido coletadas em janeiro de 2014, não foi possível a datação do anel correspondente a este ano devido às plantas se encontrarem no auge da estação de crescimento.

#### 4.2.3 Datação cruzada e construção das cronologias

A datação cruzada foi realizada em duas etapas, sendo que, na primeira, denominada datação cruzada visual, fez-se uma verificação preliminar das correspondências dos valores entre as duas amostras da mesma árvore em planilha eletrônica, sendo possível a verificação de anéis falsos ou ausentes de forma relativamente simples.

A segunda etapa, denominada datação cruzada estatística, foi realizada utilizando-se o software COFECHA, o qual é específico para este tipo de análise dendrocronológica (HOLMES, 1983). Este programa foi utilizado em análises de árvores tropicais e subtropicais por autores como Medeiros (2005), Oliveira (2007), Alvarado (2009), Chagas (2009), Stepka (2012), Caum (2013), entre outros. Nesta etapa, compararam-se as médias das duas séries de cada árvore, sendo que, nos casos em que não há correlação significativa entre as duas séries, a série média deve ser descartada.

Após este processo ter sido realizado, efetuaram-se as médias das duas séries de cada árvore, estas médias foram então justapostas a fim de que o programa realizasse uma série *master*, ou seja, um modelo ajustado com as médias inseridas, formando uma cronologia para cada local. O programa COFECHA verifica, por meio de uma correlação linear de Pearson, se existe correspondência entre cada segmento inicialmente especificado das séries reais com a *master* ajustada, informando assim quais amostras apresentam anos com problemas de datação, que estão causando perdas na correlação. Desta forma, ajustou-se uma série *master* pra cada local. As árvores que não apresentaram correlação significativa com a *master* foram

descartadas das análises, sendo consideradas como ruído, pois descaracterizavam a série de crescimento ótima de cada local.

Após a datação cruzada, os dados de incremento em largura dos anéis foram transformados em índices de crescimento, o que corresponde ao processo de estandarização, ou seja, padronização dos valores em uma mesma escala por meio da eliminação de tendências de crescimento devidas a fatores como a idade biológica e perturbação endógena do local, permitindo que os valores padronizados das árvores de diferentes taxas anuais de crescimento pudessem ser calculados juntos, para que então fosse realizada a comparação com o clima (HOLMES, 1984). Este processo reduz a variação na série, e assim, conseqüentemente, a normalização do procedimento maximiza a porcentagem de variância comum das larguras dos anéis, entre as diferentes séries de um mesmo local (STEPKA, 2012).

Autores como Chagas (2009); Stepka (2012); Caum (2013), dentre outros, utilizaram o programa ARSTAN para este fim, embora seja possível que este seja feito diretamente pelo método de Fritts (1976). Este método consiste na realização de uma regressão linear simples para cada série, posteriormente, o valor dos dados de incremento é então dividido pelo correspondente valor da curva ajustada. Tal método foi realizado por autores como Kaennel e Schweingruber (1995) e Spathelf et al. (2000) entre outros. Para esta etapa, na geração das regressões, foi utilizado o programa Sigma Plot®. Vale ressaltar que esta etapa foi realizada somente com as séries das árvores que tiveram correlação significativa com a série *master*.

### **4.3 Correlação entre crescimento e dados climáticos**

Os dados climáticos utilizados nesta pesquisa foram temperatura média do ar mensal e precipitação acumulada mensal, por serem as variáveis utilizadas de forma mais abrangente neste tipo de análise. Estes dados foram obtidos nos arquivos da Estação Meteorológica de Guarapuava, localizada no campus CEDETEG, localizada a 42 km da área de estudo, devido a esta ser a estação meteorológica com dados históricos mais próxima da área estudada. Com os valores diários fornecidos, realizou-se a média mensal da temperatura e soma da precipitação mensal, aferidas de janeiro de 1990 a dezembro de 2013, contemplando assim um intervalo de 23 anos.

Com os dados climáticos calculados, realizou-se uma correlação linear de Pearson entre estes e os índices de crescimento estandarizados. Neste tipo de análise, quando

verificada correlação significativa e/ou forte, torna-se possível a reconstrução climática de épocas anteriores à implantação de estações meteorológicas nas regiões em que se encontram as árvores das espécies estudadas (BOTOSSO e TOMAZELLO FILHO, 2001).

Na maioria das espécies ocorre uma estagnação do crescimento em períodos de menores temperaturas médias, assim, o início do ano para uma planta se dá a partir da época da liberação do crescimento, o que para as regiões de clima subtropical no hemisfério sul corresponde geralmente a setembro, ou seja, ao início da primavera, ou ainda em alguns anos, a partir do mês de agosto (STEPKA, 2012; CAUM, 2013). Desta forma, foi considerado como um ano de crescimento o período compreendido entre os meses de agosto de um determinado ano a julho do ano seguinte, tal qual Stepka (2012) utilizou em áreas da FOM.

As correlações de Pearson entre valores de incremento e índices de crescimento com os dados de temperatura e precipitação foram realizadas pelo programa Statistica®, o qual fornece a significância ao nível de 95% de probabilidade, neste tipo de análise. A fim de que houvesse maior detalhamento quanto aos meses do ano em que há um maior estímulo ao crescimento da espécie estudada, as correlações foram realizadas entre os incrementos e as médias anuais e mensais de precipitação acumulada e temperatura média (STEPKA, 2012).

#### **4.4 Determinação do crescimento diamétrico nos dois locais**

O Incremento Corrente Anual (ICA) foi obtido diretamente pela medição dos incrementos conforme metodologia já descrita, onde a medida da largura de cada anel é o próprio incremento corrente anual do raio, que, multiplicado por dois, resulta no incremento corrente anual do diâmetro.

Buscou-se comparar o crescimento da espécie ao longo dos anos em cada local, efetuando-se o Teste T de Student por se tratarem de apenas duas variáveis, ou seja, do incremento corrente anual médio total de cada local, verificou-se ainda o desvio padrão e o coeficiente de variação para estes valores em ambos os locais.

A fim de verificar diferença estatística entre os dois locais para cada uma das classes de diâmetro, foi realizada análise de variância e teste de Tukey para comparação das médias de crescimento nos diferentes locais. Anteriormente à análise de variância, foi aplicado o teste de Bartlett a fim de testar a homogeneidade das variâncias e teste de normalidade de Shapiro-Wilk a fim de verificar a normalidade dos dados. Para estes procedimentos estatísticos foi utilizado o programa Assistat® versão 7.7.

#### **4.5 Estimativa da idade das árvores em função do crescimento**

Foi realizada a estimativa da idade das árvores considerando o crescimento em diâmetro, pois, se conhecendo o valor do incremento diamétrico médio e o DAP de cada indivíduo, se pode estimar a idade em anos, por meio da divisão do valor da DAP pelo valor do incremento diamétrico médio (STEPKA, 2012). Desta forma, foi realizada a estimativa da idade das árvores por meio da média dos incrementos correntes anuais anteriormente mensurados em relação ao DAP de cada indivíduo em ambos os locais testados. Foi utilizada esta técnica devido a esta ser possível também em árvores nas quais não foi atingida a medula durante o processo de tradagem.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Datação cruzada e geração das cronologias

Na área FS das 50 árvores coletadas, 20 foram eliminadas das análises devido a problemas de sincronização na contagem dos anéis, ocasionada por anéis falsos e principalmente ausentes. Estes mesmos problemas ocasionaram a eliminação de 22 das árvores amostradas na área SSP. Após a eliminação destas amostras em que não foi possível a demarcação dos anéis, as amostras restantes foram escaneadas, e seus anéis já previamente demarcados foram medidos, para que pudesse então ser realizada a datação cruzada, ou seja, a comparação estatística entre as duas séries de cada árvore, a qual é realizada por meio do programa COFECHA. Nesta etapa, as amostras foram renomeadas de 1 a 30 na área FS e de 1 a 38 na área SSP.

Os resultados da datação cruzada entre as amostras A e B de cada indivíduo para os dois locais são apresentados nas Tabelas 2 e 3, onde é possível verificar que na área FS apenas as amostras 11 e 20 não obtiveram correlação significativa entre suas duas baguetas, sendo portanto, eliminadas das etapas posteriores. Na área SSP, houve um maior número de indivíduos eliminados nesta etapa por não obterem datação cruzada significativa, totalizando 10 indivíduos, sendo eles: 2; 4; 6; 7; 8; 10; 13; 21; 27 e 34. Logo, em ambas as áreas restaram 28 indivíduos a serem utilizados nas avaliações posteriores.

As 28 árvores restantes em ambos os locais foram submetidas ainda no programa COFECHA à geração da série *máster* com a utilização de suas respectivas médias aritméticas das séries A e B. A série *máster* é uma etapa importante que consiste na filtragem das amostras que apresentam comportamento comum entre si, descaracterizando as demais como ruído na análise, recomendando-se que estas sejam eliminadas das etapas seguintes (HOLMES, 1983; STEPKA, 2012). Foram correlacionadas de forma significativa com a *máster* a metade, ou seja, 14 das 28 séries médias analisadas na FS e na SSP, gerando um aproveitamento de 50%. Nas Tabelas 2 e 3 apresentam-se destacadas as árvores significativamente correlacionadas com as *máster* geradas para cada local.

**Tabela 2.** Resultados da datação cruzada no software COFECHA obtida pelas duas baguetas de incremento de cada árvore da área FS, com destaque às que foram significativas com a *máster* gerada posteriormente.

Número da amostra	Intervalo analisado	Intercorrelação
FS 1	2003-2013	0,802
FS 2	2002-2013	0,451
FS 3	2005-2013	0,520*
FS 4	2007-2013	0,807*
FS 5	2000-2013	0,391
FS 6	2003-2013	0,614
FS 7	2001-2013	0,385*
FS 8	2003-2013	0,562*
FS 9	2000-2013	0,968*
FS 10	1999-2013	0,860
FS 12	1997-2013	0,889
FS 13	1999-2013	0,392*
FS 14	2002-2013	0,875*
FS 15	1998-2013	0,799*
FS 16	1999-2013	0,912
FS 17	1995-2013	0,402*
FS 18	1998-2013	0,523
FS 19	1995-2013	0,682
FS 21	1995-2013	0,377
FS 22	1993-2013	0,631
FS 23	1993-2013	0,706
FS 24	2001-2013	0,725*
FS 25	1992-2013	0,608*
FS 26	1991-2013	0,885*
FS 27	1986-2013	0,622
FS 28	1988-2013	0,716*
FS 29	1990-2013	0,392*
FS 30	1992-2013	0,668
MÉDIA	-	0,645

\* superior ao limite crítico do COFECHA na geração da série *máster*

**Tabela 3.** Resultados da datação cruzada dos dois rolos de incremento de cada árvore da área SSP no software COFECHA, com destaque às que foram significativas com a *máster* gerada posteriormente.

Número da amostra	Intervalo analisado	Intercorrelação
SSP 1	2005-2013	0,733
SSP 3	2004-2013	0,740
SSP 5	2003-2013	0,581
SSP 9	1998-2013	0,474*
SSP 11	2003-2013	0,620
SSP 12	1998-2013	0,722*

Continua...

Continuação...

SSP 14	2003-2013	0,384
SSP 15	1998-2013	0,367*
SSP 16	1999-2013	0,906*
SSP 17	1999-2013	0,420*
SSP 18	2000-2013	0,398*
SSP 19	1999-2013	0,342
SSP 20	2000-2013	0,490
SSP 22	1998-2013	0,398*
SSP 23	1996-2013	0,643*
SSP 24	1995-2013	0,761
SSP 25	1994-2013	0,856
SSP 26	1999-2013	0,663
SSP 28	2000-2013	0,389*
SSP 29	1992-2013	0,844
SSP 30	1993-2013	0,397*
SSP 31	1990-2013	0,479*
SSP 32	1996-2013	0,719*
SSP 33	1984-2013	0,748*
SSP 35	1981-2013	0,444
SSP 36	1977-2013	0,500
SSP 37	1985-2013	0,439
SSP 38	1992-2013	0,393*
MÉDIA	-	0,560

\* superior ao limite crítico do COFECHA na geração da série *máster*

A intercorrelação obtida na geração da primeira série *máster*, a qual continha os 28 indivíduos para cada local, não foi significativa para ambos os locais, ou seja, foi menor que o limite crítico do COFECHA. Autores como Stepka (2012) e Lopez et al. (2006) realizaram o procedimento de descarte das amostras não significativas com o série *máster* a fim de que fosse gerada uma segunda cronologia com apenas os indivíduos significativos na primeira, funcionando como uma espécie de filtro, pois seriam eliminadas as amostras que estariam descaracterizando a cronologia ou série *máster* ideal de cada local.

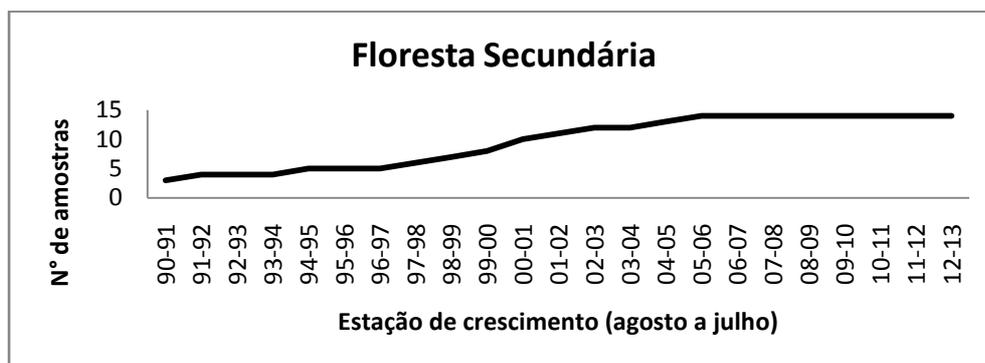
Quando foi gerada uma segunda série *máster* com apenas as 14 árvores anteriormente significativas, a intercorrelação subiu para o valor de 0,505 na FS e 0,490 na SSP, ambos significativos. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos na geração da segunda série *máster* em ambas as áreas. Autores como Alvarado (2009) e Chagas (2009) encontraram intercorrelações médias significativas, sendo que o primeiro comparou intervalos de tempo de 15 anos e obteve variação de 0,63 a 0,76, enquanto o último utilizando segmentos para cinco espécies, obteve intercorrelações médias variando de 0,389 a 0,754.

**Tabela 4.** Resultado da sincronização entre as séries cronológicas significativas dos anéis de crescimento de *A. angustifolia* das áreas FS e SSP geradas no software COFECHA.

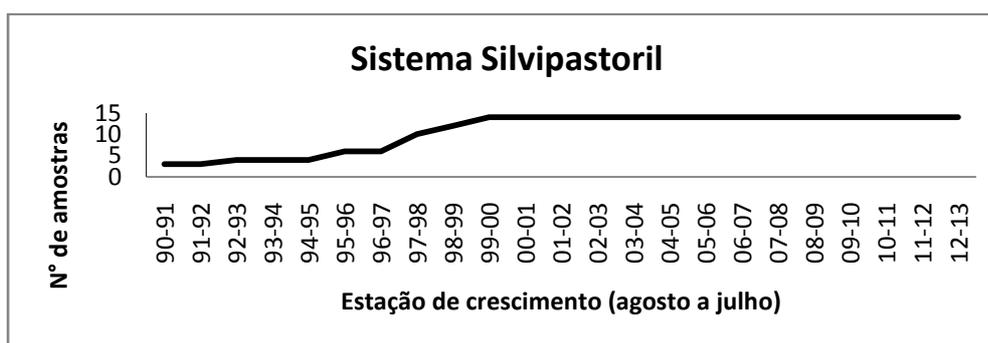
Local	Número de raios	Série co-datada	Total de anéis checados	Intercorrelação das séries
FS	14	1990-2013	222	0,505 *
SSP	14	1990-2013	250	0,490 *

\* superior ao limite crítico do COFECHA

Foram descartados anos com menos de três séries que os atingissem, sendo assim, os primeiros anéis utilizados são os formados no período de meados de 1990 a meados de 1991, ocupando uma janela temporal de 23 anos. Devido às diferentes classes diamétricas destas 14 árvores selecionadas, houve variação no número de anéis por árvore. Desta forma, as 14 amostras só foram representativas em sua totalidade numa janela de oito anos na área FS e 14 anos na área SSP. Nas Figuras 6 e 7 são apresentados o número de repetições das amostras por ano em ambos os locais.

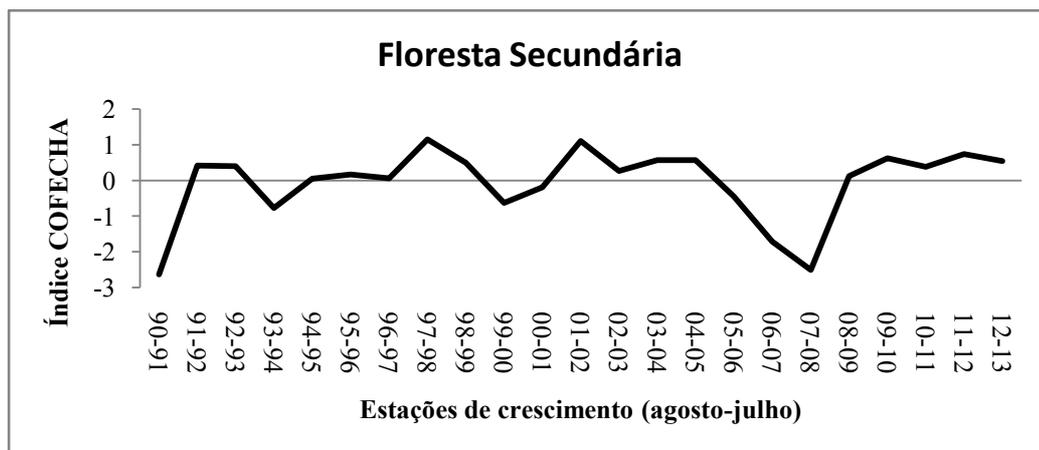


**Figura 6.** Número de repetições das amostras de *A. angustifolia* por ano na área de Floresta Secundária.

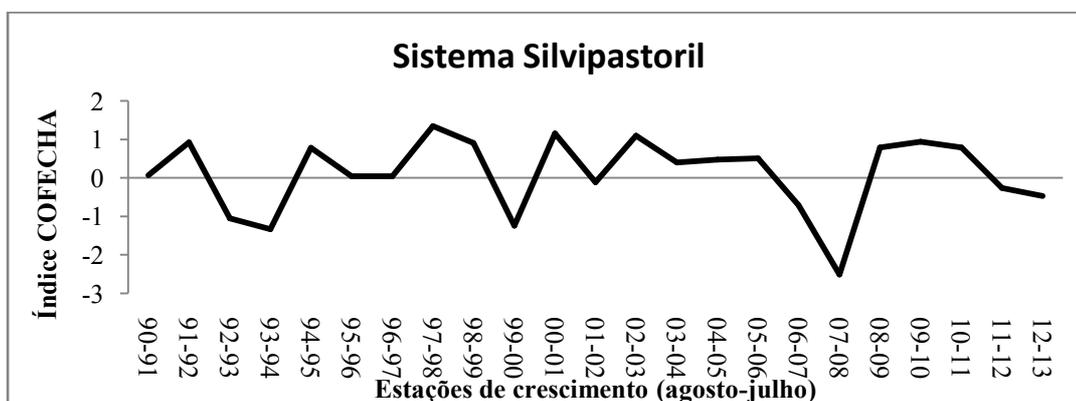


**Figura 7.** Número de repetições das amostras de *A. angustifolia* por ano na área de Sistema Silvipastoril.

Nas Figuras 8 e 9 são apresentadas as séries *máster* calculadas pelo programa COFECHA, onde é possível verificar os anos de picos de maiores e menores incrementos em ambos os locais.



**Figura 8.** Índice de incremento ou série *máster* de *A. angustifolia* da área FS elaborada com as séries significativas pelo programa COFECHA.

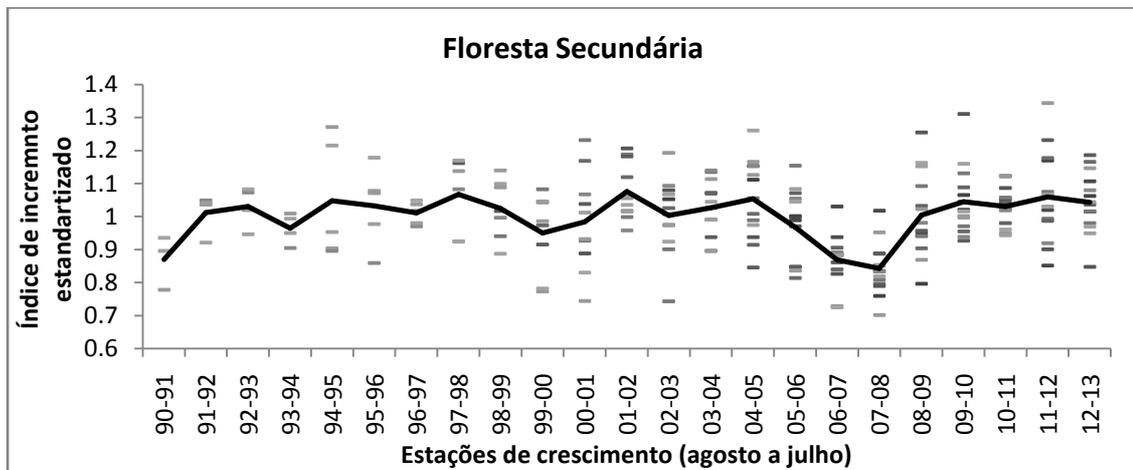


**Figura 9.** Índice de incremento ou série *máster* de *A. angustifolia* da área SSP elaborada com as séries significativas pelo programa COFECHA

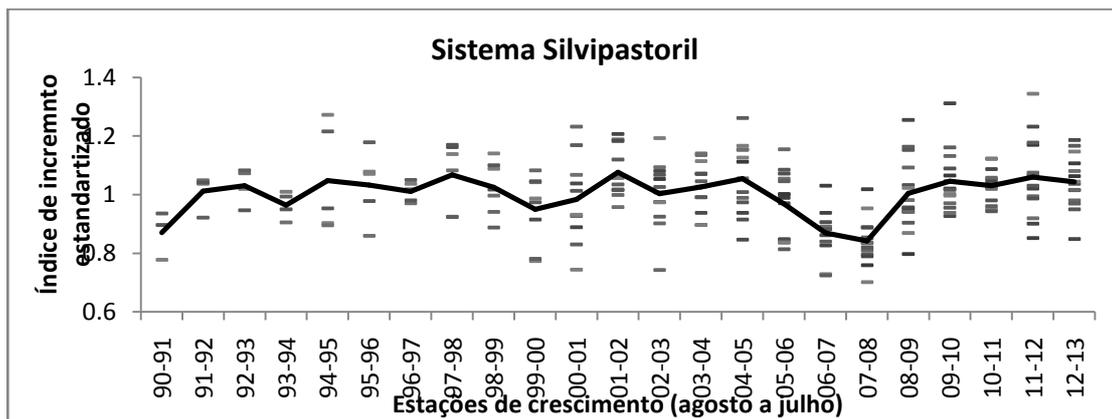
Analisando-se as Figuras 8 e 9 é possível observar os anos que apresentaram picos altos ou baixos no incremento da espécie estudada. Desta forma, em ambos os locais houve picos de baixo incremento na estação de crescimento 1993-1994; 1999-2000; 2006-2007 e 2007-2008. Enquanto os picos de elevação no crescimento se deram nas estações de 1997-1998 em ambos os locais, embora somente a FS a estação de crescimento 2001-2002 se apresentou com pico de elevação no crescimento, enquanto na área SSP estes picos se deram em 2000-2001 e 2002-2003.

Nas Figuras 10 e 11 são apresentados os índices de incremento estandarizados médios das 14 séries analisadas em cada local, calculado pelo método de Frits (1976), fornecido por meio da divisão entre o valor real e o valor ajustado por uma regressão linear de cada série.

Nestas, é possível verificar a média gerada com os índices estandarizados de cada indivíduo e a dispersão destes valores em relação à média.



**Figura 10.** Índice de incremento estandarizado médio e dispersão dos índices individuais por árvore, elaborado com as séries significativas de *A. angustifolia* da área FS.



**Figura 11.** Índice de incremento estandarizado médio e dispersão dos índices individuais por árvore, elaborado com as séries significativas de *A. angustifolia* da área SSP.

Cabe salientar que as cronologias geradas pelo software COFECHA e os índices estandarizados pelo método de Frits (1976) apresentam comportamento semelhante, sendo a principal diferença entre estas o fato de a cronologia COFECHA apresentar valores em torno de zero, ou seja, equalizados em zero, sendo negativos os valores em picos de baixo crescimento, enquanto os índices estandarizados pela metodologia de Frits (1976) apresentam apenas valores positivos. Stepka (2012) destaca ainda que a cronologia COFECHA tende a apresentar picos de alto e baixo crescimento com maior clareza.

Spathelf et al. (2000) destacam que a estandarização ou padronização das curvas de incremento são formas de eliminar tendências indesejáveis a longo prazo, o que é necessário

para salientar as variações a curto prazo pois são estas que traduzem o sinal climático provável. Desta forma são estes dados estandarizados que são utilizados na correlação com os dados climáticos.

## 5.2 Correlação entre as cronologias das duas áreas

Segundo Alvarado (2009) a comparação das cronologias *máster* das diferentes populações permite verificar a existência de sinal comum de crescimento das espécies nas diferentes localidades. Destaca-se que a maioria dos trabalhos neste sentido é desenvolvida com a mesma espécie em regiões distintas, diferente deste trabalho, onde apenas o manejo é distinto entre as duas áreas, logo, espera-se que o clima demonstre influência semelhante entre ambas, o que implicaria em uma alta correlação das duas séries *máster*.

A Tabela 5 apresenta a correlação de Pearson entre as duas áreas no que se refere aos índices COFECHA (série *máster*), índice de incremento estandarizado pelo método de Fritts (1976) e incrementos correntes anuais.

**Tabela 5.** Coeficientes de correlação entre as diferentes cronologias e os incrementos reais nas áreas FS e SSP.

Séries <i>máster</i>	Índices de estandarização (Fritts)	Incrementos correntes anuais
0,55 *	0,57 *	0,79*

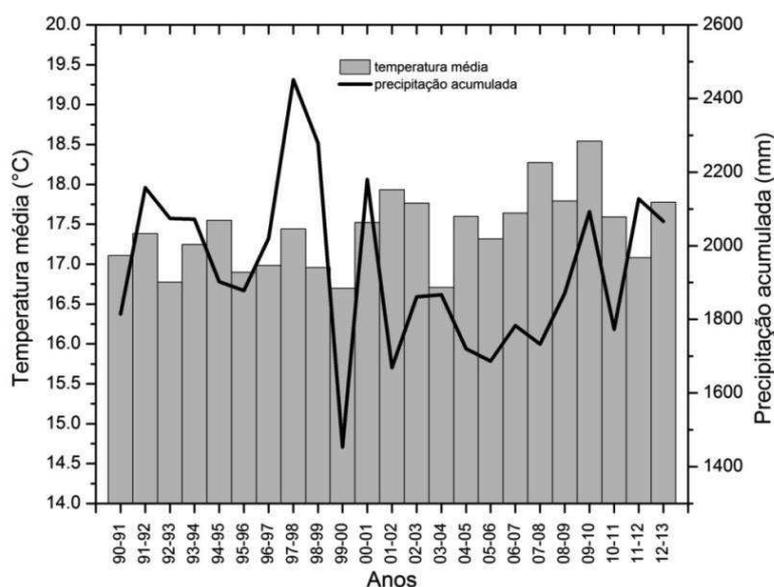
\*Significativo a 5% pelo método de Pearson.

Observa-se que as correlações entre as áreas FS e SSP foram significativas nos três métodos amostrados para o crescimento de *A. angustifolia*. Valores mais próximos de 1,0 (um) indicam maior proximidade entre o crescimento nas duas áreas, tornando-se possível verificar que embora ocorra grande semelhança entre o comportamento no crescimento da espécie estudada nas duas áreas vizinhas de manejo distinto, ocorreu uma parcela de 43 e 45% de ‘não-semelhança’ nesta análise para os índices estandarizados e séries *máster*, respectivamente, enquanto para os incrementos correntes anuais este valor foi menor. Este resultado provavelmente seja devido a outras diferenças não-climáticas, podendo ser de natureza edáfica, topográfica, ou de competição, muito embora seja possível inferir que neste estudo há maior influência da competição em relação às demais anteriormente citadas, devido a esta ser a principal diferença observável entre os dois locais.

Stepka (2012) encontrou algumas correlações significativas para *A. angustifolia* entre as séries *máster* de diferentes regiões, porém, com valores de 0,23 ou abaixo disto. Salienta-se que este autor trabalhou com diferentes regiões geográficas, e não com diferentes manejos em um mesmo local como neste trabalho. Alvarado (2009) trabalhando com incremento de mogno em diferentes regiões do Peru, não verificou correlação significativa entre as cronologias destas áreas.

### 5.3 Correlação do crescimento com os dados climáticos

A Figura 12 apresenta a distribuição da precipitação acumulada e temperatura média ao longo dos 23 anos analisados. No entanto, o gráfico foi adaptado à estação de crescimento das árvores na região (agosto-julho).



**Figura 12.** Distribuição da precipitação no período de 1990 a 2013 (adaptado à estação de crescimento: agosto a julho) na região de Guarapuava-PR.

Na Figura 12 é possível verificar que a temperatura varia de forma menos acentuada, apresentando picos menores em 1999-2000, 2003-2004 com 16,7°C e 16,9°C respectivamente, e picos de aumento nas estações correspondentes aos anos 2007-2008 e 2009-2010, sendo que neste último a média anual foi de com 18,2°C e 18,5° C,

respectivamente, caracterizando uma diferença de cerca de 2° C entre o maior e o menor valor medido nos anos analisados.

A precipitação varia mais acentuadamente que a temperatura entre os anos estudados, de forma que, as estações correspondentes aos anos 1997-1998, 1998-1999 e 2000-2001 apresentaram as maiores precipitações com valores de 2451, 2278 e 2180 mm respectivamente. As estações de crescimento que tiveram as menores precipitações foram 1999-2000, 2001-2002 e 2005-2006, com valores de 1453, 1669 e 1687 respectivamente. Desta forma, a precipitação acumulada variou de forma acentuada, em até 998 mm, se comparadas às estações de 1997-1998 e 1999-2000.

Na Tabela 6 apresentam-se as correlações dos índices de incremento com os registros climáticos médios de precipitação anual dos últimos 23 anos adaptados à estação de crescimento para a região, nas duas áreas estudadas. Estas variáveis podem ter influência verificada de forma mais marcante quando se analisa cada mês, desta forma, optou-se por realizar não somente uma correlação do incremento com as médias (temperatura) e somas (precipitação) anuais, mas também, com um período estratificado por mês.

**Tabela 6.** Correlação de crescimento de *A. angustifolia* com a precipitação acumulada dos últimos 23 anos nas áreas FS e SSP.

Correlações	Precipitação x Índice de Frits	
	SSP	FS
Anual (estação de crescimento)	0,199 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
Janeiro	0,18 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>
Fevereiro	0,243 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>
Março	-0,01 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>
Abril	0,053 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
Maio	-0,29 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Junho	-0,37 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>
Julho	0,181 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>
Agosto	0,08 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
Setembro	0,325 <sup>ns</sup>	0,008 <sup>ns</sup>
Outubro	<b>0,578*</b>	<b>0,48*</b>
Novembro	0,057 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>
Dezembro	-0,24 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>

\*Significativo a 5%; ns = não significativo a 5% pelo método de Pearson.

É possível verificar que não houve correlação significativa entre precipitação acumulada anual e o crescimento, e que este efeito ocorreu de forma semelhante entre as duas áreas, embora o valor da correlação tenha sido mais alto na SSP. Em relação às médias mensais, o mês de outubro se destacou como sendo o único com correlação significativa nos dois locais. Zanon e Finger (2010) estudando o crescimento mensal de *A. angustifolia* em

área de abrangência da FOM, concluíram que o crescimento diamétrico desta espécie se inicia em setembro, tendo seu pico em janeiro e decrescendo a partir de março e estagnando em julho e agosto, ressaltando que o mês do pico de crescimento tende a variar em função das condições climáticas de cada ano.

Mattos et al. (2004), encontraram correlação positiva entre o incremento radial e a precipitação pluviométrica para discos de *Tabebuia heptaphylla* proveniente do Pantanal Mato-Grossense. Brienen e Zuidema (2005) também encontraram relação positiva entre os anéis de crescimento e precipitação em certos períodos do ano para seis espécies tropicais da Amazônia boliviana. Worbes (1999) encontrou correlações de 0,79 a 0,91 entre incremento e precipitação anual em espécies da região amazônica, destaca-se que valores superiores ao do presente estudo demonstraram maior influência desta variável naquela região. Na Floresta Nacional de Irati-PR, Figueiredo Filho et al. (2006) estudando o incremento sazonal e anual por meio da utilização de cintas dendrométricas, encontraram correlações do crescimento com a precipitação em algumas espécies, incluindo *A. angustifolia*.

Koehler et al. (2009) encontraram correlação com a precipitação anual de 0,24 para o crescimento em diâmetro de *A. angustifolia*, sendo este valor semelhante aos obtidos neste estudo, outro autor que verificou resultados semelhantes foi Figueiredo Filho et al. (2008), os quais encontraram correlação no valor de 0,38 entre a precipitação e o incremento verificado por meio de cintas dendrométricas em *A. angustifolia* durante sete anos, em uma área florestal localizada em São João do Triunfo-PR. Destaca-se que este valor foi idêntico ao encontrado na área FS do presente estudo.

Stepka (2012) verificou que houve correlação significativa negativa entre a precipitação e o incremento de araucária em uma floresta madura localizada em São Francisco de Paula-RS, porém não encontrou este efeito de forma significativa nas demais áreas sob abrangência da FOM avaliadas em seu estudo. Neste mesmo local, Zanon e Finger (2010) observaram que o aumento da variável precipitação influenciou positivamente o crescimento de *A. angustifolia*.

Mattos et al. (2007) avaliando diversas espécies incluindo *A. angustifolia* em Cândói-PR, observaram efeito de diminuição do crescimento nos anos 1999-2000 devido a esta estação de crescimento apresentar uma diminuição na precipitação, em especial no início da primavera, o que pode ter atrasado a retomada no crescimento, gerando anéis mais estreitos. Destaca-se que o município onde estes autores realizaram este estudo localiza-se próximo a

Guarapuava-PR, corroborando com os resultados do presente estudo que destacaram um pico de diminuição do crescimento neste mesmo período (1999-2000). No final da década de 90, o “El niño” foi considerado o mais importante evento meteorológico do século, causando anomalias na distribuição de chuvas em todas as regiões do país e maiores efeitos em diminuição de chuvas nas regiões sudeste e sul (RAO et al., 2001). Caum (2013) estudando louro-pardo e Callado e Guimarães (2010) estudando guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) na região sudeste, observaram estreitamento dos anéis e assim diminuição no crescimento, como resultado deste evento de diminuição drástica de chuvas.

Destaca-se ainda que todos os meses demonstraram resultados semelhantes entre os dois locais, com exceção de maio e junho, que apresentaram embora não significativas, maiores correlações negativas na área SSP, o que pode ser devido a esta área sofrer maior influência do início da diminuição das chuvas que historicamente começa a decair em maio e culmina no mês de agosto. Logo, neste período ainda ocorre crescimento, o qual é diminuído na área SSP de forma mais acentuada devido a esta sofrer maior influência da diminuição das chuvas que historicamente ocorre na região nesta época na maioria dos anos, provavelmente por haver ressecamento mais acelerado do solo devido a esta ser uma área mais aberta e assim mais aquecida.

Embasando esta hipótese, Souza et al. (2006) destacam que os efeitos diretos e indiretos da deficiência de água no crescimento das árvores irão influenciar na relação da disponibilidade hídrica do solo e na produtividade florestal. Jacoby (1989) estudando o crescimento radial da teca (*Tectona grandis* L. f.) na Índia e em Java pode concluir que este foi influenciado pela quantidade de chuva durante a estação seca em ambas as localidades.

Caum (2013) encontrou correlação negativa significativa para o crescimento de louro-pardo durante o mês de abril na região sudeste, quando ocorre uma diminuição brusca das chuvas em comparação aos meses anteriores (média de 70 mm), ocorrendo uma diminuição do crescimento da espécie nessa época do ano. Porém, no presente estudo, somente o monitoramento microclimático e monitoramento do balanço hídrico nestes locais ao longo do ano, poderão comprovar que a SSP apresenta maior queda no crescimento nos meses de maio e junho devido a formação de um microclima que propicia maior ressecamento do solo. Na Tabela 7 apresentam-se as correlações dos índices de incremento com os registros climáticos médios de temperatura do ar média dos últimos 23 anos adaptados à estação de crescimento, para as duas áreas estudadas.

**Tabela 7.** Correlação de crescimento de *A. angustifolia* com a temperatura média dos últimos 23 anos nas áreas FS e SSP.

Correlações	Temperatura x Índice de Frits	
	SSP	FS
Anual (estação de crescimento)	0,125 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>
Janeiro	-0,00 <sup>ns</sup>	<b>-0,41*</b>
Fevereiro	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,29 <sup>ns</sup>
Março	0,262 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>
Abril	0,161 <sup>ns</sup>	0,023 <sup>ns</sup>
Maio	-0,36 <sup>ns</sup>	0,078 <sup>ns</sup>
Junho	-0,01 <sup>ns</sup>	0,066 <sup>ns</sup>
Julho	0,374 <sup>ns</sup>	0,064 <sup>ns</sup>
Agosto	0,161 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>
Setembro	-0,08 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
Outubro	0,002 <sup>ns</sup>	<b>-0,44*</b>
Novembro	0,157 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>
Dezembro	0,04 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>

\*Significativo a 5%; ns = não significativo a 5% pelo método de Pearson.

Em relação aos valores da correlação anuais para esta variável, sendo estes de 0,125 na SSP e -0,06 na FS, Stepka (2012) encontrou resultados semelhantes na correlação entre temperatura média e precipitação nos municípios de Caçador-SC (-0,10); Chapecó-SC (0,082); Irati-PR (0,1); São Francisco de Paula-RS (-0,35); São João do Triunfo-PR (0,27), todos em área de abrangência da FOM. Destaca-se que destes municípios, Irati-PR se destaca como o mais próximo do local do presente estudo, de forma que, a correlação entre temperatura e crescimento em ambos os locais foi bastante semelhante.

No entanto, Koehler et al. (2009), ao correlacionar o incremento do volume de um plantio de *A. angustifolia* com mais de 65 anos localizado na Flona de Irati, com os dados climáticos, verificaram que este foi altamente correlacionado com a temperatura média (0,5). Figueiredo Filho et al. (2008) verificaram uma correlação entre incremento e temperatura média no valor de 0,59, sendo estes valores maiores se comparados ao do presente estudo.

Caum (2013) comparando a temperatura média anual e mensal com o crescimento de louro-pardo obteve um comportamento semelhante a este trabalho, de forma que, a maioria das correlações obtidas por esta autora foram baixas e positivas, embora não significativas, indicando não haver forte influência desta variável sobre o incremento da espécie estudada. Este mesmo autor encontrou valores de correlação positiva e significativa entre o incremento e a temperatura média para os meses de agosto, setembro e outubro, indicando uma maior sensibilidade neste período e atribuindo este resultado ao aumento da temperatura após o

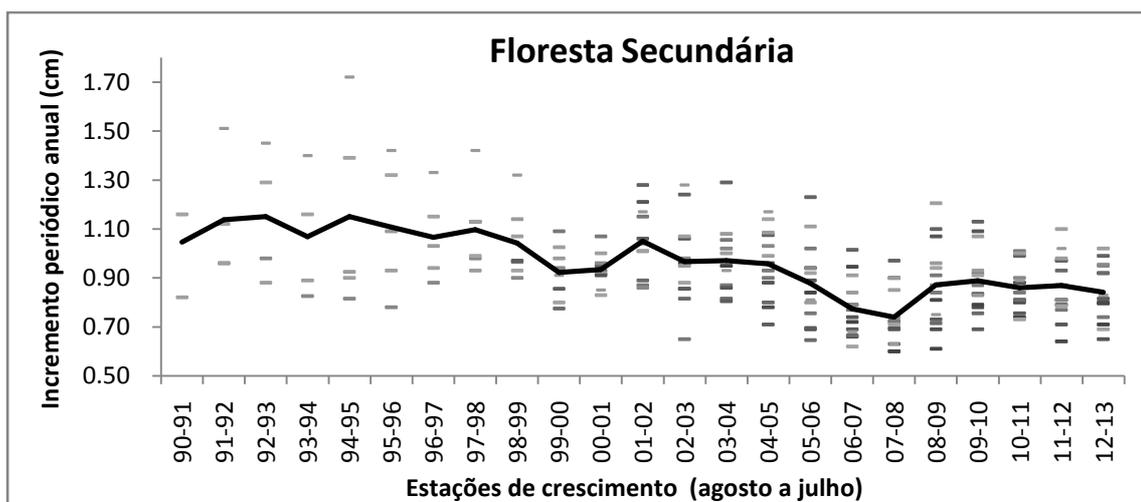
inverno, que favoreceu o aquecimento da floresta e assim o aquecimento e retomada do crescimento.

A temperatura média anual não foi significativamente correlacionada com o crescimento da espécie em ambos os locais. No entanto, na FS houve correlação significativa negativa para as médias mensais de janeiro e outubro, sendo estes os meses historicamente mais chuvosos da região. Zanon e Finger (2010) destacam que a ocorrência de precipitação acompanhada de temperaturas baixas reduz o crescimento diamétrico de *A. angustifolia*. Logo, esta diferença entre os locais pode ter ocorrido devido a FS possivelmente ter proporcionado um efeito microclimático de menor temperatura do ar em relação à SSP por esta última ser uma área menos densa e assim menos sujeita a formação de um microclima. Esta hipótese é reforçada por Soldeara et al. (2014), que estudando a diferença de temperatura do ar entre o interior e exterior da floresta em uma área sobre a abrangência da FOM, encontraram temperaturas de 2,86 °C menores na floresta durante a estação da primavera e 5,19 °C durante o verão.

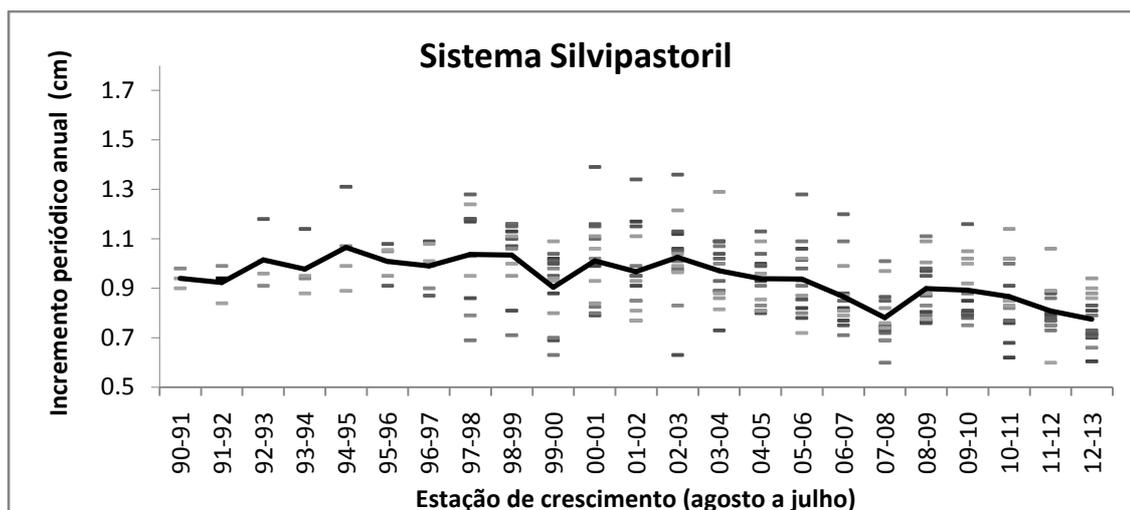
#### 5.4 Crescimento de *A. angustifolia* nos dois locais

##### 5.4.1 Comparação do incremento em diâmetro

Nas Figuras 13 e 14 são apresentadas os incrementos correntes anuais (ICA) dos indivíduos ao longo dos 23 anos avaliados, nesta, é possível notar a dispersão dos ICA individuais em relação à média do local.



**Figura 13.** Dispersão dos incrementos correntes anuais (ICA) dos indivíduos de *A. angustifolia* em relação à média na área de Floresta Secundária.



**Figura 14.** Dispersão dos incrementos correntes anuais (ICA) dos indivíduos de *A. angustifolia* em relação à média na área de Sistema Silvipastoril.

Na Tabela 8 são apresentadas as médias dos locais comparadas pelo teste T de Student a 5% de significância, o desvio padrão e o coeficiente de variação do crescimento em diâmetro para a araucária nas áreas de floresta secundária e sistema silvipastoril. É possível visualizar que não houve diferença entre as médias de incremento nos dois locais avaliados neste estudo, de forma que, nas condições testadas, o crescimento em diâmetro foi altamente semelhante entre o sistema silvipastoril e a área de floresta secundária.

**Tabela 8.** Média dos incrementos correntes anuais de *A. angustifolia* em áreas de floresta secundária e sistema silvipastoril.

Local	Média (cm)	Desvio padrão (cm)	C. V. (%)
Sistema Silvipastoril	0,90 a	0,154	16,7
Floresta Secundária	0,91 a	0,184	20,6

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste T de Student ( $p > 0,05$ ).

Os valores de incremento médio anual obtido para a espécie de *A. angustifolia* sob os dois locais estudados são semelhantes aos encontrados por Scheeren et al. (1999), em estudo sobre três sítios naturais na região de Canela-RS, os quais observam incremento periódico anual em diâmetro de 0,8 a 0,9  $\text{cm ano}^{-1}$ . Hess et al. (2009), analisando a variação do crescimento em diâmetro de *A. angustifolia* para três regiões do Rio Grande do Sul, obtiveram um incremento médio de 0,98  $\text{cm ano}^{-1}$ . Hess et al. (2010) relatam que baixos incrementos podem estar relacionados a ausência de condução do povoamento, exploração desordenada, floresta estagnada, sem intervenção ou controle da densidade. Deste modo,

como as duas áreas analisadas situavam-se sobre a mesma região, sofrendo influência do mesmo clima e tipo de solo, pode-se inferir que os incrementos não variaram entre os locais principalmente devido a estes fatores.

No entanto, os resultados encontrados neste estudo apresentam ICA em diâmetro superiores aos obtidos por Mattos et al. (2010), os quais relatam valores de 0,5 cm ano<sup>-1</sup> para *A. angustifolia*. Figueredo Filho et al. (2010) avaliando incremento diamétrico médio em 10 espécies de maior ocorrência na FOM no Sul do Brasil, verificaram que a espécie *A. angustifolia* apresenta incremento de 0,45 cm ano<sup>-1</sup>, sendo superior as outras espécies analisadas nesta área, entretanto, inferior aos resultados obtidos neste trabalho.

Na tabela 9 é possível observar o incremento corrente anual médio em diâmetro (amplitude de 10 cm) de *A. angustifolia* por classe diamétrica para os diferentes locais. Vale destacar que inicialmente às coletas optou-se pela segregação das classes em amplitudes de 5 cm, porém, após a eliminação de indivíduos pelo software COFECHA, resultaram 14 indivíduos em cada local, e desta forma, não restaram indivíduos em número significativo ao se analisar o incremento médio nesta amplitude, pois, algumas classes não foram contempladas e outras apresentaram menos de três indivíduos cada, sendo necessário aumentar a amplitude das classes diamétricas de 5 para 10 cm. Ressalta-se ainda que esta média foi calculada com os valores de incremento dos 23 anos analisados, não sendo representativas para todas as árvores em sua totalidade de anéis existentes até a medula.

**Tabela 9.** Incremento médio anual em diâmetro de *A. angustifolia* por classe diamétrica nos diferentes locais.

Classe Diamétrica (cm)	Floresta Secundária	Sistema Silvipastoril
5 a 15	0,82 b	0,84 b
15 a 25	0,96 a	0,93 a
>25	0,97 a	0,95 a
Média	0,91	0,90

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 1%.

Verificaram-se diferenças estatísticas significativas entre os incrementos médios entre as classes diamétricas de 5-15 cm e as demais, tanto na área FS como na SSP, sendo que os maiores incrementos foram obtidos nas classes diamétricas superiores a 15 cm, para ambos os locais. De acordo com Schaff (2001), a afirmação de que classes diamétricas inferiores devem apresentar incrementos diamétrico maiores pelo fato de concentrarem árvores mais jovens,

nem sempre é verdadeira, pois indivíduos mais finos empregam seus recursos preferencialmente para crescimento de altura, em relação a diâmetro, na tentativa de se manter na comunidade.

O processo pelo qual o incremento variou conforme as classes diamétricas também foram observadas por Stepka (2012), em Chapecó-SC, onde os indivíduos de *A. angustifolia* apresentaram maior crescimento nas maiores classes diamétricas, sendo que, este autor verificou incrementos médios próximos a  $0,7 \text{ cm ano}^{-1}$  em indivíduos com DAP maior que 45 cm, enquanto indivíduos com aproximadamente 15 e 25 cm de DAP apresentaram incremento em torno de 0,35 e 0,45  $\text{cm ano}^{-1}$ , respectivamente. A hipótese sugerida neste estudo, o qual os menores valores de incrementos diamétricos anuais foram obtidos em classes diamétricas menores, se deve principalmente a competição interespecífica entre espécies com maior altura.

Destaca-se que apesar dos resultados estarem baseados em amostragem pequena de classes diamétricas, a diferença significativa é um indicativo importante da necessidade de adotarem técnicas de manejo apropriadas, identificando e favorecendo as classes diamétricas mais produtivas (BRAZ, 2010).

#### 5.4.2 Estimativa da idade das árvores em função do crescimento

Na Tabela 10 apresentam-se as estimativas da idade em função do crescimento médio em diâmetro, nela é apresentado o número da árvore, o DAP medido a campo, o número de anéis contados na amostra e a idade estimada das árvores de araucária, sendo esta última obtida pela divisão do DAP pelo incremento médio de cada indivíduo.

A idade média estimada de *A. angustifolia* para a área SSP apresentou variação de 16 a 63 anos, com incremento médio anual de 0,75 a 1,04  $\text{cm ano}^{-1}$ , com idades estimadas entre 16 e 33 anos para 13 indivíduos, e apenas um indivíduo com idade superior, o qual apresentou aproximadamente 63 anos. A FS apresentou árvores com idade estimada entre 8 a 43 anos, com incremento médio anual de 0,73 a 1,05  $\text{cm ano}^{-1}$ . Estes resultados se assemelham aos de Hess et al. (2009), os quais encontraram uma estrutura etária da população de *A. angustifolia*, localizada na Serra de Sudeste-RS, entre 2 e 60 anos e incremento corrente anual entre 0,1 a 0,96  $\text{cm ano}^{-1}$ .

**Tabela 10.** DAP (cm), número de anéis medidos, incremento médio (cm) por árvore e idade estimada (anos) das amostras de *A. angustifolia* em uma área com Sistema Silvipastoril e com Floresta Secundária.

Sistema Silvipastoril					Floresta Secundária				
Nº árv	DAP	Nº anéis	Incr. médio	Idade est.	Nº árv	DAP	Nº anéis	Incr. médio	Idade est.
9	11,1	16	0,75	16	3	9,4	9	0,73	13
12	14	16	0,92	16	4	6,7	8	0,83	8
15	12,4	16	0,82	16	7	15	13	0,9	17
16	15,9	15	0,88	18	8	10,7	11	0,75	14
17	14,6	15	0,91	16	9	11,5	14	0,76	15
18	15,3	14	0,92	17	13	16,7	15	0,81	20
22	24,2	16	1,02	24	14	16,9	12	1,05	16
23	23,6	18	1,04	23	15	15,4	16	0,74	21
28	29,9	14	1,02	29	17	20,2	19	0,92	22
30	25,5	21	0,96	26	24	29	13	0,84	34
31	26,1	23	0,84	31	25	25,6	22	0,87	29
32	26,4	18	0,96	27	26	30,7	23	0,84	36
33	54,1	23	0,85	63	28	35,3	23	0,83	43
38	33,7	23	0,93	33	29	31,2	23	1,03	30

Árv=árvore; est=estimada; incr=incremento

## 6. CONCLUSÕES

O incremento em diâmetro de *A. angustifolia* não apresentou diferença entre os dois locais, sendo este de 0,9cm ano<sup>-1</sup> na área sistema silvipastoril e 0,91 cm ano<sup>-1</sup> na floresta secundária. A menor classe diamétrica testada apresentou crescimento menor em relação às demais classes diamétricas em ambos os locais.

Na geração das cronologias, verificou-se que não houve correlação significativa entre o crescimento de *A. angustifolia* e as variáveis: temperatura média do ar e precipitação acumulada, ao longo dos 23 anos analisados. No entanto, a precipitação apresentou valores de correlação mais elevados, indicando que esta variável influencia de forma mais acentuada o crescimento de *A. angustifolia* na região estudada.

A precipitação acumulada apresentou correlação significativa somente para o mês de outubro, nos dois locais, enquanto a temperatura média em outubro e janeiro demonstrou correlação significativa negativa para a floresta secundária, o que pode ser devido à formação de microclima mais frio devido aos maiores períodos de chuva ocorrerem nestes meses do ano, podendo gerar uma diminuição no crescimento em relação ao sistema silvipastoril, a qual é menos densa e assim menos propicia a formação de microclima mais frio.

Desta forma, destaca-se que em estudos de reconstruções climáticas, se torna necessário o conhecimento do histórico da floresta, pois o manejo adotado tende a refletir na cronologia gerada, a qual será utilizada nas correlações com variáveis climáticas e ambientais.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, M. D.; COPENHEAVER, C. A. Temporal variation in species recruitment and dendroecology of an old growth white oak forest in the Virginia Piedmont, USA. **Forest Ecology and Management**, v.124, p. 275-284, 1999.
- ALTIERI, M. A. Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar. **Revista NERA**, v. 13, n.6, p.22-32, 2010.
- ANDRADE, C. M.; FINGER, C. A. G.; THOMAS, C.; SCHNEIDER, P. R. Variação do incremento anual ao longo do fuste de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e densidades populacionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 239-246, 2007.
- ALVARADO, J. R. **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru**. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, Piracicaba. 2009.
- BLUM, W. E. H. Ecophysiological and phylogenetic aspects of Araucariaceae with special consideration of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1. 1979, Curitiba. **Forestry problems of the genus Araucaria**. Curitiba: FUPEF, 1980. p. 71-74.
- BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento de manejo de floresta tropicais da Amazônia**. 2010. 236f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- BRESSAM-SMITH, R. B. et al. Periodicidade do crescimento do tronco em cinco espécies no sul da Bahia. Brasil. **Revista Agrotropica**, Ilhéus, v. 9, n. 3, p. 99-106, 1997.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. **Oecologia**, v. 146, n.1, p. 1-12, 2005.
- BOTOSSO, P.C.; TOMAZELLO FILHO, M. aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia. In: N. B. Maia; H. L. Martos; W. Barella. (Org.). **Indicadores Ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC – Editora da PUC-SP, 2001, p. 144-165.
- CALLADO, C. H.; GUIMARÃES, R. C. Estudo dos anéis de crescimento de *Schizolobium parahyba* (Leguminosae: Caesalpinioideae) após episódio de mortalidade em Ilha Grande, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 33, n.1, p. 85-91, 2010.
- CAMPOS, J. C. C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. **Revista Floresta**, v. 2, n. 3, p. 45-52, 1970.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Volume 1. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.

CAUM, C. **Anatomia comparada da madeira de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. (BORAGINACEAE) proveniente de sementes de duas procedências e análise dos anéis do crescimento.** 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Botucatu, 2013.

CHAGAS, M. P. **Caracterização dos anéis de crescimento e dendrocronologia de árvores de *Grevillea robusta* A. Cunn, *Hovenia dulcis* Thunb., *Persea americana* Mill., *Tabebuia pentaphylla* Hemsl. e *Terminalia catappa* L. nos municípios de Piracicaba e Paulínia, SP.** 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – ESALQ/USP, Piracicaba. 2009.

DUNISCH, O. Influence of the el-nino southern oscillation on cambial growth of *Cedrela f. SSilis* Vell. In tropical and subtropical Brazil. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 79, n. 5-11, 2005.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, v. 7, n. 1, p. 1 – 43, 2005.

FERREIRA, L. **Periodicidade do crescimento e formação da madeira de algumas espécies arbóreas de florestas estacionais semidecíduas da região sudeste do Estado de São Paulo.** 2002. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FIGUEIREDO FILHO, A. HUBIE, S. R.; SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO, D. J.; SANQUETTA, C. R. Análise do incremento em diâmetro com o uso de cintas dendrométricas em algumas espécies de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Estado do Paraná. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v.5, n.1, p. 69-84, 2003.

FIGUEIREDO FILHO, A.; SERPE, E. L.; PLODOWSKI, G.; SANTOS, D. F.; STEPKA, T. F.; BECKER, M. Crescimento sazonal em diâmetro de 16 espécies de uma Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de Irati, Parana, Brazil. In: **2º Congresso latinoamericano IUFRO**. Bosques: la creciente importancia de SUS funciones ambientales, sociales y economicas, v. 1., 2006. La Serena, Chile. Anais do| La Serena: IUFRO-INFOR. 2006. v.1. p. 115-127.

FIGUEIREDO FILHO A.; RODE, R.; FIGUEIREDO, D. J.; MACHADO, S. A. Seasonal diameter increment for 7 species from an Ombrophyllous Mixed Forest, southern state of Paraná, Brazil. **Floresta**, v. 38, n.3, p. 527-543, 2008.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal.** 1 ed. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

FRITTS, H.C. **Tree Rings and Climate.** London: Academic Press, 1976. 567 p.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.19, n.1, p.7-22, 2009.

HESS, A. F.; CALGAROTTO, A. R.; PINHEIRO, R.; WANGINIÁK, T. C. R. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no Município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30, n.64, p.337-345, 2010.

HIGUCHI, N. et. al. Uso de bandas metálicas e dendrômetros automáticos para a definição do padrão de crescimento individual das principais espécies arbóreas da floresta primária da região de Manaus, Amazonas, Brasil. In: **Projeto Jacarandá Fase II: Pesquisas Florestais na Amazônia Central**, Manaus: INPE, p. 55-68, 2003.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bull**, v. 43, p. 69–75, 1983.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3ed. New York: John Wiley e Sons, 1982. 402p.

JACOBY, G. G. Overview of tree ring analyses in tropical regions. **IAWA Journal**, Leiden, v.10, n.2, p. 99-108, 1989.

KAENNEL, M.; SCHWEINGRUBER, F. H. **Multilingual gloSSary of dendrochronology**. Terms and definitios in English, German, French, Spanich, Italian, Portuguese and RuSSian, Bern; Stuttgart; Vienna: Haupt, (1995).

KOHLER, S. V.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELDE, J. L.; DIAS, A. N. Crescimento e produção em plantios de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no centro-sul doParaná. In: **Anais do XVIII Encontro anual de iniciação científica – 30 desetembro a 2 de outubro de 2009**.

LAUW, A. M. R. F. **Estudo de anéis anuais de crescimento de árvores como indicadores climáticos em Portugal**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais) – Universidade técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

LOPEZ, B. C.; RODRIGUEZ, R.; GRACIA, C. A.; SABATE, S. Climatic signals in growth and its relation to ENSO events of two Prosopisspecies following a latitudinal gradient in South America. **Global Change Biology**, v. 12, n.5, p. 897–906, 2006.

MARIA, V. R. B. **Estudo da periodicidade do crescimento, fenologia e relação com a atividade cambial de espécies arbóreas tropicais de florestas estacionais semidecíduas**. 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MACHADO, S. de A.; ZAMIN, N. T.; NASCIMENTO, R. G. M.; SANTOS, A. A. P. Efeito de Variáveis Climáticas no Crescimento Mensal de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* em Fase Juvenil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n.2, p.170-181, 2014.

MATTOS, P. P.; SEITZ, R. A.; SALIS, S. M. Potencial dendroecológico de *Tabebuia heptaphylla* (Vell.) Toledo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 48, p. 93-103, 2004.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Crescimento de *Araucaria angustifolia* na Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Cacador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 55, p. 107-114, 2007a.

MATTOS, P. P. de; SANTOS, A. T. dos.; OLIVEIRA, Y. M. M. de.; ROSOT, M. A. D. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do Município de Candói, PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 29, n.54, p.153-156, 2007b.

MATTOS, P. P. de.; OLIVEIRA, M. F.; AGUSTINI, A. A.; BRAZ, E. M.; RIVEIRA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M. de.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Aceleração do crescimento em diâmetro de espécies da Floresta Ombrófila Mista nos últimos 90 anos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30, n.64, p.319-326, 2010.

MAZON, J. A. **Composição florística e fitossociológica de Floresta Ombrófila Mista em áreas sob manejo silvipastoril e sucessão secundária**. 2014. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati. 2014.

MEDEIROS, J. G. S. **Anéis de crescimento de árvores de *Araucaria columnaris* Hook.: caracterização anatômica, densitométrica e aplicação no monitoramento ambiental**. 2005. 85 f. DiSSertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, Piracicaba. 2005.

MEDEIROS, J. D. et al. Seleção de áreas para criação de unidades de conservação na Floresta Ombrófila Mista. **Biotemas**, Florianópolis, SC, v. 18, n. 2, p. 33-50, 2005.

MUNARETO, F. F. **Dendroclimatologia de quatro espécies florestais nativas com potencial silvicultural e econômico**. 2007. 62 f. DiSSertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: Bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**. 2007. 139 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 2007.

OLIVEIRA, J. M.; ROIG, F. A.; PILLAR, V. D. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands **Austral Ecology**, v. 35, p. 134-147, 2010.

OLIVEIRA, B. R. U. et al. Correlações dendroclimatológicas do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden na região de Rio Claro, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 499-508, 2011.

POORTER, L.; BONGERS, F. **Ecology of tropical forests**. Wageningen: Agricultural University, 1993. 223 p.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San Jose, C.R.: Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura (IICA), 1997. 561 p.

RAO, V.B.; SANTO, C.E.; FRANCHITO, S.H. A diagnosis of rainfall over South America during 1997/98 *El Niño* event. Part I: validation of NCEP – NCAR reanalysis of rainfall data. **Journal of Climate**, v. 15, n. 1, p. 502-511, 2001.

RIVERA, H. **Ordenamento territorial de áreas florestais utilizando avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento, fitossociologia e análise multivariada**. 2007. 225 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ROSA, S. A. **Modelos de crescimento de quatro espécies madeireiras de floresta de várzea da Amazônia central por meio de métodos dendrocronológicos**. 2008. 77 f. DiSSertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.

SCHAAF, L. B. **Florística, estrutura e dinâmica no período 1979-2000 de uma floresta ombrófila mista localizada no Sul do Paraná**. Curitiba, 2001, 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

SCHAAF, L. B.; FILHO, A. F.; SANQUETTA, C. R.; GALVÃO, F. Incremento diamétrico e em área basal no período 1979-2000 de espécies arbóreas de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Paraná. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 35, n. 2, 2005.

SCHEEREN, L. W.; FINGER, C. A. G.; SCHUMACHER, M. V.; LONGHI, S. J. Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze em três sítios naturais, na região de Canela-RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 23-40, 1999.

SCOLFORO, J. R. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE; 1998.

SILVA, H. D. et al. Recomendação de solos para *Araucaria angustifolia* com base nas suas propriedades físicas e químicas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, PR, n. 43, p. 61-74, 2001.

SOLDERA, C.; BATISTA, D. B.; MARTINI, A. Microclima e conforto térmico na trilha do Capão do Tigre – espaço com atividades de educação ambiental. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n.19, p.2348-2359, 2014.

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.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. 2012. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

SPATHELF P.; FLEIG, F. D.; VACCARO, S.; ESBER, L. M. Análise dendroecológica de *Ocotea pulchella* Nees et Mart. Ex Nees (canela lageana) na serra geral de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n.1, p. 95-108, 2000.

STOKES, M.; SMILEY, T. **An introduction to tree-ring dating**. Chicago and London. The University of Chicago Press. USA. 1968. 73 p.

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, p. 391- 403, 1999.

ZANON, M. L. B. **Crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. diferenciado por dioécia**. Santa Maria, 2007, 110f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2007

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. G. Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados. **Ciência Florestal** v. 20, n. 3, p. 467-476, 2010.

## CAPITULO II: QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM ÁREAS SOB MANEJO SILVIPASTORIL E FLORESTA SECUNDÁRIA

### RESUMO

Sistemas silvipastoris se destacam como uma modalidade de sistema agroflorestal que consorcia a produção florestal e forrageira/animal, podendo ser implantados em introdução de pastagens em plantios florestais e de fragmentos de florestas nativas. Estes sistemas surgem pela constante busca por mecanismos de produção que sejam mais sustentáveis, causando menos degradação do ambiente. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade física do solo em área manejada com sistema silvipastoril com espécies nativas e espaçamento aleatório (SSP) comparativamente a uma área de floresta em estágio secundário de regeneração (FS), a qual já possuiu o mesmo manejo, porém se encontra isolada há 20 anos. Foram realizadas coletas de amostras de solo indeformadas nas profundidades 0-20; 20-40 e 40-60 cm, em oito pontos por local, com as quais foram realizadas as curvas de retenção de água no solo (CRAS), densidade, porosidade total, macro e a microporosidade. Em 16 pontos por local, realizou-se a mensuração da resistência mecânica a penetração (RMP) em um intervalo de 0-60 cm e sua respectiva umidade do solo no momento da coleta. Verificou-se que a área FS apresentou valores de macro e microporosidade comuns a florestas nativas. A SSP apresentou maior macroporosidade, possivelmente devido à presença de gramíneas. Na distribuição de poros e avaliação visual da estrutura do solo foi possível verificar diferença entre os dois locais, demonstrando que o isolamento da área foi capaz de passados 20 anos, modificar estes atributos, tornando-os idênticos a áreas de florestas naturais. No entanto, para as variáveis: densidade, porosidade total e RMP, as áreas FS e SSP apresentaram o comportamento de solos em locais não alterados, desta forma, pode-se considerar o sistema silvipastoril natural analisado como sendo capaz de manter a sustentabilidade ambiental no local quando comparado a uma área preservada.

**Palavras – chave:** agrofloresta; floresta; gramíneas; macroporosidade.

## CHAPTER II: PHYSICAL QUALITY SOIL IN AREAS UNDER MANAGEMENT AND STAGE SECONDARY SILVIPASTORIL REGENERATION

### ABSTRACT

Silvopastoral systems stands out as an agroforestry system modality that consorts forest production and forage/animal and can be deployed in introducing grazing in forest plantations and native forest fragments. These systems arise by the constant search for mechanisms of production that are more sustainable, causing less environmental degradation. In this context, this study aimed to evaluate the soil physical quality in managed area with silvopastoral system with native species and random spacing (SSP) compared to an area of forest regeneration in secondary stage (FS), which already owned the same management, but is isolated for 20 years. Collection of undisturbed soil samples were performed at 0-20; 20-40 and 40-60 cm in eight points per site, which were carried out with the water retention curve in the soil (CRAS), density, porosity, macro and microporosity. On 16 points per site, the measurement of mechanical strength was held penetration (RMP) in a range of 0-60 cm and their respective soil moisture at the time of collection. It was found that the FS area presented macro and microporosity values common to native forests. The SSP highest macroporosity possibly due to the presence of grasses. In the pore distribution and visual assessment of ground structure was verified difference between the two sites, demonstrating that the isolation area was able to last 20 years modify these attributes, making them identical to natural forest areas. However, for the variables: density, porosity and RMP, the FS and SSP areas showed both the behavior of soils in places not changed, therefore, can be considered the natural silvopastoral system analyzed as being able to maintain environmental sustainability at the site when compared to a preserved area.

**Key - words:** agroforestry; forest; grasses; macroporosity.

## INTRODUÇÃO

As florestas em estágio secundário de regeneração, por definição, sofreram uma ação perturbatória que pode ter sido devida a antropização em algum momento devido a alguma perturbação ambiental, destacando a retirada de madeira e a criação de gado, desta forma, a sucessão florestal sempre inicia com etapas pioneiras e culmina com a de clímax (HIGUCHI et al., 2012).

Daubenmire (1968) destaca as alterações que tendem a ocorrer em áreas onde há mudança na sequência de comunidades que substituem umas as outras, assim como ocorre após o isolamento de uma área, este autor cita a mudança na dominância de plantas de pequeno porte por plantas grandes; aumento na longevidade das dominantes; diversificação das formas de vida; aumento na massa de tecidos vivos e de matéria orgânica morta por unidade de área; aumento do número de possíveis “patamares” ao longo dos quais a matéria circula e a energia flui; amenização dos extremos microambientais; maturação do perfil do solo; maior resistência do ecossistema a distúrbios externos, entre outros.

A qualidade física do solo está relacionada com a cobertura do solo e com a funcionalidade dos sistemas, de forma que, tanto em ecossistemas manejados como naturais indica a capacidade de sustentação destes sistemas, promovendo produção e manutenção da qualidade ambiental (DORAN e PARKIN, 1994). Costa et al. (2003) destacam que o emprego de práticas não sustentáveis pode causar degradação da qualidade física, além de interferir em processos químicos e biológicos, tornando difícil uma reversão.

A perda da qualidade física do solo afeta os espaços porosos do solo, prejudicando o fornecimento de água, nutrientes e oxigênio, limitando assim o desenvolvimento das raízes e de organismos benéficos no solo, afetando conseqüentemente o desenvolvimento das plantas (TORMENA et al., 1998). Neste contexto, os Sistemas Agroflorestais (SAFs) tem se destacado como sendo considerados os sistemas de manejo que buscam conservar as condições do solo o mais próximo possível das condições naturais, buscando-se um equilíbrio do ecossistema manejado a partir da diversidade de espécies e manutenção do microclima (NAIR, 1993).

Sistemas silvipastoris (SSPs) são definidos uma modalidade de SAF que apresenta destaque como uma alternativa na produção animal e silvícola em áreas antes exploradas, neste caso, sendo implantadas de forma simultânea a pastagem e as arbóreas ou então somente

de arbóreas, porém, podem surgir pela introdução de poáceas em áreas de fragmentos de florestas nativas, quando há a necessidade da utilização destas áreas com alguma forma de produção (FEY e MALAVASI, 2013).

Aguiar (2008) destaca que apesar da qualidade física do solo ser tema de diversos estudos, são raros os trabalhos que tratem deste tema em solos sob SAF's, e, mesmo quando se estuda este sistema, é dada maior ênfase nos aspectos de fertilidade e biologia do solo, carecendo-se de dados em torno da qualidade física do solo nestes sistemas de produção. Neste contexto, verifica-se a necessidade da geração de informações sobre o efeito da utilização de sistemas considerados menos agressivos ao meio ambiente, a exemplo dos SAFs e suas modalidades sobre a qualidade física do solo.

Desta forma, a presente pesquisa buscou caracterizar a qualidade física do solo após 20 anos de isolamento de uma área anteriormente manejada com sistema silvipastoril sob remanescente florestal, a qual se encontra atualmente em estágio secundário de regeneração, e compará-la com uma área que continuou sendo manejada como sistema silvipastoril, a fim de verificar se houveram diferenças oriundas deste isolamento, e assim, inferir sobre o efeito da utilização do manejo silvipastoril citado sobre os parâmetros de qualidade física do solo.

Partiu-se da hipótese de que o SSP sob remanescente de floresta nativa não altera a qualidade física do solo, assim, o isolamento da área em um período de cerca de 20 anos não afetou os principais parâmetros da qualidade física do solo de forma significativa, demonstrando que há capacidade do SSP em manter essa qualidade ao longo do tempo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Verificar a qualidade física do solo em área manejada com sistema silvipastoril, comparando-a com área de floresta em estágio secundário de regeneração, a qual foi isolada do manejo silvipastoril há cerca de 20 anos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analisar se há influência do manejo silvipastoril sobre a qualidade física do solo;
- Estimar se o isolamento no período de 20 anos pode ocasionar condições físicas do solo comuns a florestas naturais;
- Verificar indicadores de sustentabilidade ambiental em relação às alterações de características físicas do solo ocasionadas pelo manejo silvipastoril tendo como base o manejo em floresta em estágio secundário de regeneração.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Sistema silvipastoril

O uso intensivo dos solos agrícolas, assim como as práticas de manejo convencional adotadas implicam em continuaredução contínua da qualidade do solo, tornando a solução deste problemaum dos grandes desafios da agropecuária moderna, a qual visa encontrar formas de manejo do solo que sejam viáveis economicamente e ecologicamente sustentáveis (CARVALHO et al., 2004; CHAVES et al., 2012).

A utilização de Sistemas Agroflorestais (SAFs) pode ser uma alternativa viável a fim aumentar a produtividade dos sistemas agropecuários e promover elevados níveis de sustentabilidade, beneficiando o aumento da biodiversidade no ecossistema (ALTIERI, 2010; MARTINS et al., 2013). Segundo Paludo e Costabeber (2012) a definição deste sistema consiste em uma forma de cultivo múltiplo, sendo composto por uma ou mais espécies de produção agrícola e arbóreas, visando diversificaçãona produção, incrementonos níveis de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e aperfeiçoamentodo sistema de produção. Deste modo, consiste numa opção agroecológica que visa os componentes: social, econômico e ambiental (SILVA et al., 2001).

O sistema silvipastoril (SSP) caracteriza-se por ser uma modalidade de SAF que apresenta em um determinado local a combinação de árvores, pastagem e animais, a fim de incrementar a produtividade, obtendo múltiplos produtos vegetais e animais como carne, leite e madeira (DIAS-FILHO, 2006). Dentre os benefícios do SSP destacam-se o aumento na eficiência do uso da terra e dos recursos em uma determinada escala espacial e temporal (FRANKE e FURTADO, 2001), aumento na estabilidade do sistema e redução de riscos em função da diversidade de espécies (SANTOS e SANTOS, 2011), controle da erosão e maior fertilidade do solo (CASTRO et al., 2008).

Segundo Fey e Malavasi (2013) o estabelecimento dos SSP pode ocorrer em três sistemas distintos: (1) introdução de árvores em pastagens já existentes; (2) plantio simultâneo de árvores e pastagem; (3) as introduções de poáceas ocorrem em áreas de plantios florestais ou de fragmentos de florestas nativas, tal qual ocorre nesta pesquisa.

Dentre as contribuições da adoção deste sistema é possível destacar a proteção da biodiversidade local, melhorias na qualidade de água e do solo, ciclagem de nutrientes,

sequestro de carbono, corredores e habitat para espécies vegetais e animais, estabilização do microclima, proteção aos animais contra excedentes de frio e calor, bem estar dos animais, entre outros (DIAS-FILHO, 2006).

Como maiores desafios da introdução deste sistema destacam-se: (a) questão econômica, a baixa lucratividade inicial do sistema e a exigência de maiores investimentos de tempo e dinheiro; (b) assistência técnica especializada, pois este sistema de manejo por apresentar alta complexidade, requer mão de obra capacitada; (c) baixa produtividade de forrageiras ocasionadas pelo sombreamento; (d) acidentes com animais a pasto ocasionados por queda de galhos ou árvores; (e) dificuldade de aplicação de produtos e roçadas (ANDRADE et al., 2004; PACIULLO et al., 2007; DIAS FILHO e FERREIRA, 2008). Entretanto, apesar de tais entraves, estudos conduzidos nas mais diversas regiões demonstram que a adoção do sistema silvipastoril é economicamente mais atrativa em relação a sistemas de monocultivos, promovendo menores riscos e retorno elevado (GOBBI e CASASOLA, 2003).

### **3.2 Qualidade do solo**

O conhecimento sobre a qualidade do solo é de fundamental importância para o manejo e aplicação das práticas conservacionistas em solos agrícolas, o que auxilia na adoção de estratégias sustentáveis para os diferentes sistemas de produção. Em relação ao manejo do solo, é importante que este seja agrícola ou oriundo de ecossistema natural, possa sustentar produtividade e diversidade biológica, mantendo as características de qualidade ambiental e promovendo a saúde e o bom desenvolvimento das plantas, evitando assim, a utilização de métodos que possam reduzir a probabilidade de sucesso pela adoção do método de manejo escolhido (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

Para uma boa qualidade do solo, é importante que as relações de interação entre as características físicas, químicas e biológicas sejam equilibradas (TÓTOLA e CHAER, 2002). De acordo com Araújo et al. (2012) o fator qualidade física do solo, consiste em que o solo bem estruturado proporcione uma boa interação com relação à infiltração, retenção e disponibilidade de água para as plantas e mananciais hídricos, responda ao manejo e tenha resistência a degradação, proporcione as trocas de calor e gases a atmosfera, além de permitir o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Avaliar de forma quantitativa a qualidade do solo, apesar de ser uma prática difícil, pode ser um marco referencial para um manejo sustentável do sistema. Em diversos sistemas, o tipo de manejo pode afetar drasticamente nas características físicas, químicas e biológicas, afetando diretamente a qualidade do solo. Resultados de estudos, tais como Maia et al. (2006), avaliando os impactos dos SAF's e comparando com o manejo convencional sobre a qualidade do solo, demonstram que as agroflorestas mostram-se eficientes na ciclagem de nutrientes, bem como o sistema silvipastoril, sendo que estes permitem maior incremento na estabilidade dos microagregados.

Azar et al. (2013) verificam que o sistema silvipastoril, além de permitir aumento no conteúdo de carbono orgânico e microbiano no solo quando comparado aos sistemas de monocultura, apresenta uma elevada atividade microbiana decompositora. Desta forma, o estudo e monitoramento da qualidade do solo são de suma importância para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, sendo que as avaliações dos seus atributos se apresentam como indicadores para serem utilizados neste tipo de estudo (SILVA et al., 2005).

### 3.2.1 Indicadores da qualidade do solo

Os indicadores de qualidade do solo fornecem informações sobre a capacidade de sustentação do mesmo, visando respeitar a vegetação e produtividade dos sistemas agrícolas, a qualidade ambiental e saúde humana, animal e vegetal (ARAÚJO e MONTEIRO, 2007). Sua utilização constitui uma das maneiras indiretas de mensurar o funcionamento do solo e suas limitações com o ecossistema, sendo úteis aos agricultores, promovendo melhor uso e ocupação de um determinado tipo de solo sem que ocorra degradação do mesmo (ARAGÃO et al., 2008).

Segundo Vezzani e Mielniczuk (2009), dentre os indicadores de qualidade física do solo, a estrutura do solo é um dos mais importantes para o desenvolvimento das plantas, uma vez que afeta diretamente no adensamento, infiltração da água, compactação, encrostamento e suscetibilidade a erosão. Para avaliar a estrutura do solo, podem ser utilizados indicadores como densidade do solo, macro e microporosidade, resistência mecânica a penetração, entre outros (GOMES e FILIZOLA, 2006), ou ainda, à análise visual da estrutura do solo, a qual indica os efeitos do manejo utilizado sobre a estrutura, por meio de análises relativamente simples (GIAROLA et al., 2009; GUIMARÃES et al., 2011).

### 3.2.1.1 Densidade do solo

A densidade do solo, também conhecida como densidade global ou densidade aparente, consiste basicamente na diferença entre a amostra de uma massa seca a 105°C e o volume ocupado pelas partículas e poros. A densidade reflete o arranjo das partículas do solo, que por sua vez, definem as características do sistema poroso, de tal forma que todas as manifestações que afetam a disposição entre as partículas do solo, influenciem nos seus valores (KLEIN, 2012).

Em geral, quando ocorre aumento no perfil em profundidade do solo, ocorre uma elevação nos valores de densidade do solo. Isso pode ocorrer devido às pressões promovidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes, pois há redução da porosidade devido a um fenômeno ocasionado pela compactação natural ou adensamento do solo. Além disso, o aumento na densidade nestas camadas pode ocorrer devido há movimentação de materiais finos dos horizontes superiores para inferiores, os quais reduzem os espaços dos poros, promovendo este fenômeno (PEQUENO, 2013).

De acordo com Rabelo (2000) e Araújo et al. (2004), os valores da densidade dos solos podem oscilar conforme suas características inerentes. Em solos argilosos, os valores variam de 0,95 a 1,25 g cm<sup>-3</sup>, em solos arenosos, de 1,35 a 1,85 g cm<sup>-3</sup>, solos húmiferos, de 0,75 a 1,00 g cm<sup>-3</sup> e solos turfosos, de 0,20 a 0,40 g cm<sup>-3</sup>. Entretanto, vale ressaltar que esta propriedade é relativamente instável, sofrendo influência com relação ao grau de adensamento do solo, teores de matéria orgânica, profundidades, e sistema de cultivos empregados (SÁ e JUNIOR, 2005).

No entanto, práticas de manejo agrícola incorretas podem ocasionar alterações de estrutura e densidade do solo, promovendo o seu adensamento e possivelmente sua compactação. Desta forma, quanto maior os valores da densidade do solo, maior será o adensamento do mesmo e menor será a estruturação e a porosidade total, afetando proporcionalmente o crescimento e desenvolvimento das plantas (TORRES e SARAIVA, 1999; KLEIN e LIBARDI, 2002).

### 3.2.1.2 Porosidade

A porosidade total do solo pode ser definida como os volumes vazios do solo, que não são ocupados por conjuntos de componentes orgânicos e inorgânicos, os quais podem ser

divididos em macroporos ( $> 0,05$  mm) e microporos ( $<0,05$  mm), sendo que, os macroporos são os responsáveis pela infiltração de água no solo e pela circulação de ar no mesmo, enquanto os microporos são responsáveis por armazenar água no solo e disponibilizá-la as plantas (EMBRAPA, 1997; RIBEIRO et al., 2007).

Os solos arenosos apresentam poros predominantes de maior diâmetro (macroporos), logo, o volume total de poros é menor quando comparado a solos de textura argilosa, uma vez que poros grandes tendem a formar disposição piramidal, os quais oferecem menores espaços vazios, variando de 35 a 50%. Solos de textura argilosa apresentam porosidade entre 40 a 60%, sendo este valor se deve a argila coloidal, o qual contribui para formar microagregados que aumentam a microporosidade dos solos. Os solos de com maior porosidade são aqueles ricos em matéria orgânica, apresentando porosidade entre 60 a 80% (RABELO, 2000).

De acordo com Beutler e Centurion (2003) a porosidade afeta diretamente o desenvolvimento radicular das plantas, influenciando a absorção de água e nutrientes, sendo que, conforme há redução da porosidade ocorre indução do crescimento lateral das raízes, diminuindo seu diâmetro a fim de que estas penetrem nos poros menores. No entanto, segundo estes mesmo autores, solos com elevada porosidade reduzem o contato do solo com a raiz, afetando na absorção de água e nutrientes e ocasionando em menor desenvolvimento.

### 3.2.1.3 Curva de retenção de água no solo

A curva de retenção de água no solo (CRA ou CRAS) é considerada um atributo físico-hídrico importante nos estudos da qualidade física do solo visando práticas de uso e o manejo sustentável dos sistemas agrícolas, pois fornece o teor de água do solo ( $\theta$ ) em diferentes tensões ( $\Psi$ ) (SANTOS et al., 2011). De acordo Reichart e Timm (2004), a CRA é o resultado da relação entre o potencial mátrico e o conteúdo de água disponível no solo, sendo que o conteúdo mátrico é a medida de energia para retenção de água na matriz do solo, enquanto que o conteúdo de água no solo é quantidade de água disponibilizada em uma determinada matriz de solo.

Segundo Stefanoski et al. (2013), as informações obtidas em uma CRA apresentam a possibilidade de que sejam calculados valores de outros atributos de qualidade física do solo, tais como a densidade, porosidade total e sua distribuição, dentre outros. Desta forma,

podendo demonstrar através de sua complexidade e sinuosidade as condições estruturais de um determinado tipo de solo.

Este indicador de qualidade física do solo pode ser afetado por determinados fatores, a exemplo da textura do solo, uma vez que em solos com elevados teores de argila, maior tende a ser a capacidade de reter água sob um dado potencial mátrico, resultando em menor inclinação na curva. Em solos arenosos, por estes apresentarem poros maiores, sob baixas tensões estes são rapidamente esvaziados, resultando em baixa quantidade de água retida a altas tensões, proporcionando uma inclinação acentuada na CRA (COSTA et al., 2008; SOUZA et al., 2013).

Apesar disso, em tais situações é de suma importância a determinação da CRA, pois este atributo associado a outros atributos de determinação rotineira, como textura, matéria orgânica e densidade do solo, apresenta extrema utilidade para avaliações técnico-financeiras de projetos de irrigação e drenagem, além de projetos para assentamento rural, classificação de solos e levantamentos conservacionistas, visando o uso racional deste recurso (MELLO et al., 2002; MACHADO et al., 2008).

#### 3.2.1.4 Resistência mecânica do solo a penetração

A resistência mecânica do solo a penetração (RMP) consiste em um atributo para representar a força em que as raízes das plantas devem exercer para romper as camadas do solo, isto é, a resistência física em que o solo oferece para ser rompido. Esta variável é diretamente associada à densidade do solo, desta forma, pode ser indicativo para determinar o estado de compactação do solo (MONTANARI et al., 2012).

A penetrometria consiste em um método apropriado para avaliar a RMP devido a sua facilidade e rapidez na obtenção de dados, além de possibilitar efetuar elevado número de repetições na aquisição de informações (BENGOUGH e MULLINS, 1990). No entanto, Seixas e Souza (2007) e Marasca et al. (2011) relatam que em determinados situações podem ocorrer dificuldades na interpretação dos dados devido este método sofrer influência na presença de raízes e rochas, os quais interferem nos valores de RMP, além de sofrer dependências a fatores como conteúdo de água, matéria orgânica e textura no solo. Dentre os penetrômetros utilizados para realizar a penetrometria destacam-se os estáticos e os de impacto (LEITE et al., 2010).

Com relação às classes utilizadas para classificação da RMP, verificam-se a de USDA (1993), o qual cita três classes: (1) pequena,  $<0,1$  MPa; (2) intermediária, 0,1 a 2 MPa e (3) grande,  $> 2$  MPa, sendo que valores acima de 2 MPa apresentam elevada restrição para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Há ainda a classificação proposta por Arshad et al. (1996), os quais estabelecem: a) extremamente baixa:  $RP < 0,01$  MPa; b) muito baixa:  $0,01 \leq RP < 0,1$  MPa; c) baixa:  $0,1 \leq RP < 1,0$  MPa; d) moderada:  $1,0 \leq RP < 2,0$  MPa; e) alta:  $2,0 \leq RP < 4,0$  MPa; f) muito alta:  $4,0 \leq RP < 8,0$  MPa; e g) extremamente alta:  $RP > 8,0$  MPa. No entanto, ressalva-se que na ocasião da avaliação, deve-se considerar a umidade do solo, pois esta afeta diretamente na resistência da penetração (MERCANTE et al., 2003).

Em suma, a RMP apresenta-se útil como um atributo indicativo da qualidade física do solo, possibilitando identificar valores com potencialidades limitantes para o bom desenvolvimento do sistema radicular, além de permitir a possibilidade para o estabelecimento de valores críticos de densidade e umidade do solo. Cabe destacar ainda, que esta variável deve obrigatoriamente levar em consideração a umidade do solo no momento da coleta, uma vez que esta altera a necessidade de aplicação de força das raízes durante seu crescimento (SILVEIRA et al., 2010).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Descrição da área de estudo

#### 4.1.1 Histórico da área de estudo

A localização e descrição da área de estudo encontram-se no capítulo I, item 4.1

#### 4.1.2 Condições edafo-climáticas da área de estudo

A descrição das condições edafo-climáticas na área de estudo encontram-se no Capítulo I, item 4.2.

### 4.2 Coleta e das amostrase variáveis avaliadas

#### 4.2.1 Distribuição das coletasde solo

A coleta das amostras indeformadas de solo, a mensuração da resistência mecânica a penetração (RMP) e a determinação da umidade foram realizadas nos meses de abril e maio de 2014, sendo que para todas as variáveis as coletas foram realizadas a fim de representar as profundidades 0-20; 20-40 e 40-60 cm para cada ponto amostrado. A RMP e umidade do solo foram coletadas em dezesseis pontos amostrais em cada área, distribuídos uniformemente.

Com relação às amostras indeformadas do solo, foram amostrados uniformemente oito pontos em cada sistema, totalizando 16 pontos de coleta. A coleta das amostras indeformadas ocorreu em três profundidades (0-20; 20-40 e 40-60) com a utilização de cilindros de aço inox com bordas cortantes contendo 67,7 cm<sup>3</sup> de volume. Para que as amostras representassem este intervalo de 20 cm em cada profundidade, estas foram alocadas ao centro de cada profundidade, sendo estes: 8 – 13 cm, 28 – 33 cm, e 48 – 53 cm, aproximadamente.

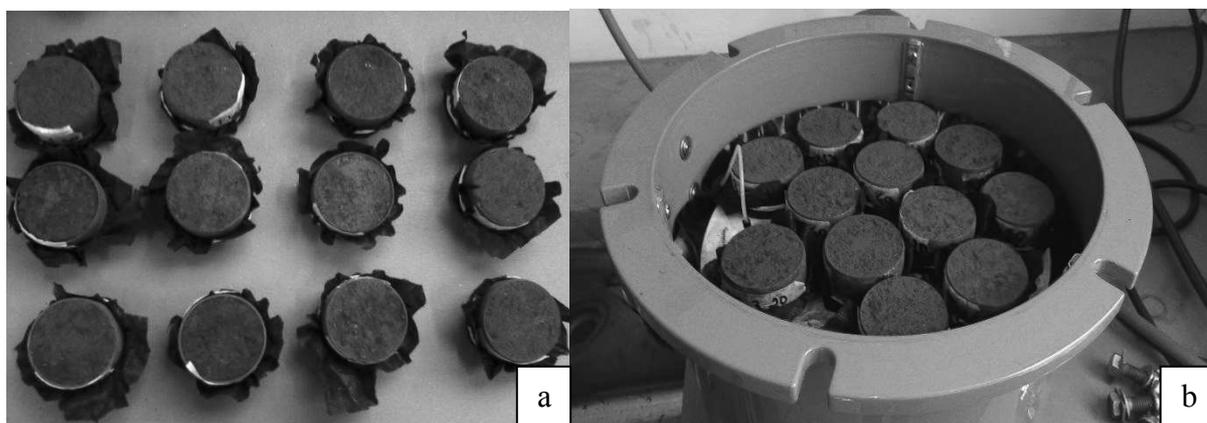
Para retirada das amostras, os cilindros foram distribuídos de forma alternada, visando não haver interferência da própria coleta das amostras de uma camada superior na camada inferior. Após a retirada, as amostras foram aparadas e acondicionadas de forma a que não houvesse perda de material.

#### 4.2.2 Preparo e levantamento das curvas de retenção

Durante o preparo do material, as superfícies inferiores das amostras foram niveladas e cobertas por uma tela de TNT® permitindo que não houvessem perdas de solo durante os processos de saturação e pesagem das amostras para o levantamento de dados das curvas de retenção. Para o processo de levantamento dos dados para curva de retenção de água do solo foi utilizada a metodologia proposta pela EMBRAPA (2007).

A saturação das amostras de solos foi determinada por meio da ascensão capilar, no qual uma pequena lâmina foi aplicada ao redor das amostras, sendo este processo conduzido de forma lenta a fim de não ocorrer o aprisionamento de bolhas no interior das amostras (REICHARDT e TIMM, 2004).

A obtenção dos dados de retenção de água no solo foi realizada no laboratório de Relação Água-Solo-Planta-Atmosfera da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). A curva de retenção de água foi obtida com o uso de Câmara de pressão de Richards (Figura 15 a e b), no procedimento de obtenção das curvas, as amostras foram saturadas por um período de 72 horas e posteriormente são aplicadas as seguintes tensões: 0,1; 0,3; 0,5; 1; 3; 5 e 15 Bar. Ao final das aplicações de tensões determinadas, as amostras foram levadas à estufa a 105°C por 48 horas a fim de determinar o massa seca da amostra de solo.



**Figura 15.** (a) Amostras de solo em anéis volumétricos e (b) câmara de pressão de Richards.  
**Fonte:** Arquivo pessoal

#### 4.2.3 Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

Para a obtenção da porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, foram utilizadas as amostras do levantamento das curvas de retenção, utilizando-se a

metodologia da Embrapa (1997). Desta forma, a porosidade total do solo é definida como sendo como o volume percentual ocupado pela água em condição de saturação. A determinação da porosidade total do solo ( $P_t$ ) foi obtida conforme a Equação 1, sendo:

$$P_t = \frac{M_{Sat} - M_S}{V_T} \quad (1)$$

Onde:

$M_{Sat}$ : massa do solo na condição de saturação (g);

$M_S$ : massa do solo seco (g);

$V_T$ : volume da amostra ( $\text{cm}^3$ ).

A microporosidade do solo foi definida por meio da secagem a tensão de 0,1 bar (equivalente a tensão de 100 hPa), em câmaras de pressão de Richards com placa porosa (KLUTE, 1983). Para determinação de microporosidade (Micro), foi empregada a Equação 2, sendo:

$$Micro = \frac{M_{0,1} - M_S}{V_T} \quad (2)$$

Onde:

$M_{0,1}$ : massa do solo na condição de 0,1Bar (g);

$M_S$ : massa do solo seco (g);

$V_T$ : volume da amostra ( $\text{cm}^3$ ).

A macroporosidade (Macro) foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade do solo, conforme a Equação 3:

$$Macro = P_T - Micro \quad (3)$$

#### 4.2.4 Densidade aparente do solo

A densidade do solo ( $D_s$ ) ( $\text{g cm}^{-3}$ ) foi determinada pelo método do anel volumétrico de acordo com a Embrapa (1997), a partir da razão entre a massa de solo seco a 105 °C e o volume do cilindro por ela ocupado. A altura e o diâmetro dos anéis foram previamente medidos utilizando um paquímetro digital, calculando-se a média de seis repetições, sendo obtido o volume de 67,7  $\text{cm}^3$ .

#### 4.2.5 Umidade gravimétrica do solo

A determinação da umidade do solo foi obtida pelo método padrão de estufa segundo a metodologia proposta pela Embrapa (1997), o qual é baseado na diferença de peso entre uma amostra contendo água antes e depois de uma secagem em estufa. As amostras de solo foram coletadas por meio de um trado holandês ao lado dos pontos em que foram determinadas a RMP nas profundidades de 0-20 cm; 20-40 cm e 40-60 cm. Este procedimento foi adotado devido ao fato de que valores distintos para este atributo invalidam o teste de resistência à penetração do solo.

No momento da coleta, as amostras foram alocadas em recipientes previamente pesados e lacrados para não perderem a umidade até a chegada no laboratório, posteriormente, estas foram levadas ao Laboratório de Florestais e Forrageiras da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), sendo pesadas em uma balança de precisão e depois alocadas em estufa para secagem sob temperatura de 105° por 48 h, quando atingiram peso constante. Os dados obtidos foram expressos em teor de umidade (%) a partir da Equação 4.

$$U\% = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (4)$$

Sendo:

$U\%$  = umidade gravimétrica (%)

$Mu$  = massa do solo úmido (g)

$Ms$  = massa do solo seco (g)

#### 4.2.6 Resistência mecânica do solo a penetração

A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada com auxílio de um penetrômetro FALKER modelo PenetroLOG – PLG 1020, devido a este ser eficiente na avaliação de camadas compactadas do solo e apresentar similaridade quando comparado a um penetrômetro de impacto de IAA/Planalsucar-Stolf (LIMA et al 2013). A introdução do aparelho no perfil no solo ocorreu através de um cone com ângulo de 30° acoplado a uma haste metálica realizando leituras nas profundidades de 0 a 60 cm, as quais foram posteriormente estratificadas para 0-20; 20-40 e 40-60 cm para que fossem realizadas as análises estatísticas. Este aparelho consiste em um medidor eletrônico que armazena os dados,

de forma que o módulo eletrônico registra a força aplicada em KPa (posteriormente transformada em MPa) a cada 1 cm ao longo do perfil do solo.

Destaca-se que o momento da coleta ocorreu aproximadamente 12 horas após um evento de precipitação pluvial, quando então o solo encontrava-se muito próximo ou ainda em capacidade de campo, o que é indicado para fins comparativos entre áreas que apresentam diferentes manejos e podem apresentar diferenças significativas em velocidade de infiltração e evapotranspiração.

### **4.3 Delineamento experimental e análise dos resultados**

As parcelas experimentais foram instaladas no sentido norte-sul, sendo que cada parcela continha uma área de 900 m<sup>2</sup> (30x30 m). Adotou-se o delineamento em parcelas subdivididas, sendo cada parcela constituída pelos dois sistemas de manejo (sistema silvipastoril e floresta secundária) e a subparcela constituída pelas três profundidades (0-20; 20-40; 40-60 cm). Para análise de densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, umidade e curva de retenção de água no solo foram utilizadas oito repetições, enquanto para a resistência mecânica a penetração do foram utilizadas dezesseis repetições.

Para cada variável, foi efetuado o teste de Bartlett a fim de verificar a homogeneidade de variâncias, além do teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos dados, para que posteriormente, obedecidas estas condições, pudesse ser realizada a análise de variância (ANAVA ou teste F) ao nível de 5% e 1% de significância para comparação dos tratamentos. Caso não houvesse interação significativa entre as parcelas e subparcelas, realizava-se ANAVA e Tukey para comparação entre as profundidades, e teste T de Student para comparação entre os dois locais, ambos ao nível de significância de 5% e 1%, As análises foram realizadas com a utilização do programa estatístico ASSISTAT versão 7.7.(SILVA e AZEVEDO, 2002).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Densidade aparente do solo

Nas análises dos dados para a densidade do solo (Ds) verificou-se que havia normalidade e homogeneidade das variâncias, desta forma, foram realizados os demais testes estatísticos. Não houve interação entre o local utilizado e as diferentes profundidades. Desta forma, na Tabela 11 são demonstrados os resultados das médias sendo possível observar que, a camada de 0-20 cm de profundidade apresentou Ds média entre os dois locais de 0,85 Mg m<sup>-3</sup> sendo estes valores estatisticamente menores quando comparados as profundidades 20-40 cm e 40-60 cm. Com relação aos dois diferentes sistemas, é possível verificar que não houve diferença significativa entre os locais ao longo do perfil, embora em valores absolutos o SSP tenha apresentado um valor maior para esta variável.

**Tabela 11.** Médias dos valores da densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>) em Sistema Silvipastoril e Floresta Secundária em três profundidades.

Profundidade (cm)	Sistema Silvipastoril	Floresta secundária	Médias
0-20	0,86	0,83	0,85 b*
20-40	0,96	0,93	0,95 a
40-60	0,93	0,90	0,92 a
Médias	0,92 a	0,89 a	

\*As médias seguidas pela mesma letra na linha e na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey e Student respectivamente, ao nível de 1% de probabilidade de erro.

No que se refere aos valores de Ds obtidos neste trabalho, Rabelo (2000) e Araujo et al. (2004), destacam os valores de densidade dos solos argilosos, como variando entre 0,95 a 1,25Mg m<sup>-3</sup>, enquanto em solos humíferos este varia de 0,75 a 1,00 Mg m<sup>-3</sup>. Jakelaitis et al. (2008) encontraram valores de Ds em mata nativa sob Argissolo vermelho amarelo na ordem de 0,89 g cm<sup>-3</sup> na profundidade de 0 a 10 cm. Entretanto, vale ressaltar que esta propriedade é relativamente instável, sofrendo influência com relação ao grau de compactação do solo, teores de matéria orgânica, profundidades, e sistema de cultivos empregados (SÁ e JUNIOR, 2005).

Desta forma, os valores encontrados neste estudo podem ser considerados intermediários entre solos argilosos e humíferos em ambos os locais, ressalta-se que embora a

maioria dos trabalhos encontrados na literatura destaque solos argilosos como o deste trabalho com valores maiores que  $1 \text{ Mg m}^{-3}$ , geralmente estes se encontram em áreas utilizadas na produção agropecuária de forma mais intensiva.

Corroborando com os resultados da Tabela 11, Luciano et al. (2010) encontraram valores de  $D_s$  variando de 0,7 a  $1,1 \text{ Mg m}^{-3}$  em uma área de mata nativa localizada sob cambissolo háplico, sendo que, a  $D_s$  aumentou conforme o aumento na profundidade de avaliação. Este comportamento se assemelha ao encontrado em trabalho desenvolvido por Castro et al. (2012), os quais relatam elevação nos valores de  $D_s$  a partir de 20 cm de profundidade em áreas de floresta nativa, e por Martini et al. (2012) que verificaram aumento nos valores de  $D_s$  a partir dos 15 cm de profundidade em um sistema silvipastoril com árvores frutíferas. Dalben e Osaki (2008) avaliando a  $D_s$  em três profundidades tal qual o presente estudo, em uma floresta nativa, verificaram o mesmo comportamento, no qual a camada superior apresentou  $D_s$  estatisticamente menor em relação às demais profundidades. Com relação ao SSP, este mesmo comportamento pode ser observado por Martini et al. (2012), os quais avaliando a camada de solo correspondente entre a superfície e 25 cm de profundidade, encontraram na camada superior do solo a  $D_s$  de  $1,17 \text{ Mg m}^{-3}$ , sendo este valor inferior estatisticamente quando comparado às maiores profundidades.

A diferença estatística de  $D_s$  observadas entre as profundidades 0-20 e as demais pode ser atribuída à condição de adensamento natural do solo e da matéria orgânica, de forma que, por definição o adensamento natural ocorre devido às pressões promovidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes, havendo paralelamente à movimentação de materiais finos dos horizontes superiores para inferiores, os quais reduzem os espaços dos poros, promovendo este fenômeno (PEQUENO, 2013).

A matéria orgânica presente no solo oriundo da serrapilheira pode atuar sobre os valores de  $D_s$ , sendo que, teores relativamente baixos promovem maior  $D_s$  e menor estabilidade da estrutura do solo. Está hipótese é contribuída por Cunha et al. (2011) e Marcolin e Klein (2011) os quais relatam contribuição da matéria orgânica na redução dos valores de densidade do solo, bem como Pezzoni et al. (2012) os quais demonstram correlação significativa entre a matéria orgânica proveniente da serrapilheira com a  $D_s$ . Este fato se deve principalmente ao efeito amortecedor da matéria orgânica, o qual promove dissipação de parte da energia aplicada; capacidade em estabelecer ligações entre as partículas do solo, aumentando a coesão e promovendo maior agregação, a qual afeta indiretamente os

demais atributos físicos do solo (STONE e EKWUE, 1993; ZHANG et al., 1997; BRAIDA et al., 2006).

## 5.2 Porosidade total, macro e microporosidade

Na Tabela 12 apresenta-se a porosidade total (Pt) e sua estratificação em macro e microporosidade em ( $\text{m}^3 \text{m}^{-1}$ ). Não houve interação significativa entre os dois locais e as distintas profundidades analisadas para nenhuma das três variáveis. Destaca-se que para estas variáveis foi observada normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias, sendo então realizadas as demais análises estatísticas.

**Tabela 12.** Médias dos valores em porcentagem para porosidade total, macroporosidade e microporosidade, sob sistema silvipastoril e floresta secundária em três profundidades.

Profundidade (cm)	SSP	FS	Média
-----Porosidade Total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-1}$ )-----			
0-20	0,63	0,63	0,63 a*
20-40	0,60	0,61	0,61 b
40-60	0,60	0,61	0,61 b
Média	0,61 a	0,62 a	
-----Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-1}$ )-----			
0-20	0,18	0,10	0,14 a
20-40	0,16	0,10	0,13 a
40-60	0,16	0,11	0,13 a
Média	0,16 a	0,10 b	
-----Microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-1}$ )-----			
0-20	0,45	0,53	0,49 a
20-40	0,45	0,51	0,47 b
40-60	0,44	0,50	0,47 b
Média	0,45 b	0,51 a	

\*As médias seguidas pela mesma letra na linha e na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey e Student respectivamente, ao nível de 1% de probabilidade de erro.

Para a variável porosidade total na SSP e FS é possível verificar comportamento estatístico similar ao observado para a variável densidade, de forma que não houve diferença significativa entre os dois locais avaliados, porém, a profundidade 0-20 cm apresentou maior quantidade de poros de forma significativa em relação às demais profundidades em ambos os locais. As camadas de 20-40 e 40-60 cm de profundidade não diferiram estatisticamente entre si em ambos os manejos.

O comportamento obtido neste trabalho se assemelha aos de Centurion et al. (2007) e Jakelaitis et al. (2008) os quais observaram valores semelhantes em área de mata nativa, bem

como descrevem que a maior porosidade total tenha sido encontrada nas camadas superiores em relação às demais profundidades. Luciano et al. (2010) encontraram valores de Pt em mata nativa variando de 0,68 na superfície até 0,56 m<sup>3</sup> m<sup>-1</sup> em 25 cm de profundidade, corroborando com os resultados obtidos neste estudo.

A variação da Pt ao longo dos perfis se deve principalmente a Ds, de forma que, ao comparar os valores Ds da Tabela 11 com os dados de Pt na Tabela 12, verifica-se que os menores valores Pt foram obtidos quando houve aumento da Ds. Este comportamento colabora com Centurion et al. (2004) os quais relatam redução da Pt com aumento da Ds em áreas de cultivo em Latossolo Vermelho distrófico. Isto ocorre, pois a Ds é expressa pela quantidade de massa de solo seco em relação ao seu volume, levando em consideração os espaços com poros, deste modo, a porosidade do solo é inversamente proporcional à densidade do solo (TORMENA et al. 2002).

Com relação às profundidades, o comportamento demonstrado neste trabalho se assemelha ao verificado por Neto et al. (2014), os quais verificam redução da Pt a medida que ocorre aumento na profundidade do solo em áreas com sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. Neto et al. (2009) demonstram valores de Pt do solo entre 0,61 até 0,69 m<sup>3</sup> m<sup>-1</sup> para áreas manejadas com diferentes pastagens, sendo estes valores semelhantes aos obtidos neste estudo. Desta forma, pode-se inferir que o isolamento da área de FS e o próprio SSP não modificaram a porosidade total, valendo-se de que ambos os locais apresentam o comportamento de áreas sem manejo.

Para a variável macroporosidade, não houve diferença significativa entre as profundidades analisadas, entretanto, no que se refere aos locais, houve diferenças significativas, de forma que se observa que o SSP apresentou valores entre 0,15 a 0,17 m<sup>3</sup> m<sup>-1</sup> de macroporos ao longo do perfil analisado, sendo estes dados estatisticamente superiores quando comparados à FS, o qual apresentou valores entre 0,10 a 0,11 m<sup>3</sup> m<sup>-1</sup> nas camadas analisadas. Ribeiro et al. (2007) destacam que um solo com condições ideais de aeração deve apresentar macroporosidade superior a 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-1</sup>, logo, ressalta-se que ambas as áreas avaliadas no presente estudo apresentam condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas.

Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2014) os quais relatam valores de macroporosidade entre 0,17 a 0,21 m<sup>3</sup> m<sup>-1</sup> no perfil entre 0-40 cm profundidade em áreas de pastagem de *Brachiaria* spp. De maneira geral, poáceas forrageiras promovem

melhorias nas qualidades físicas do solo, principalmente aumento na porosidade do solo (KONDO et al., 2012). Logo, pode-se inferir que o comportamento dos resultados para esta variável se deve principalmente à ação do sistema radicular das pastagens, as quais ocorrem apenas no SSP.

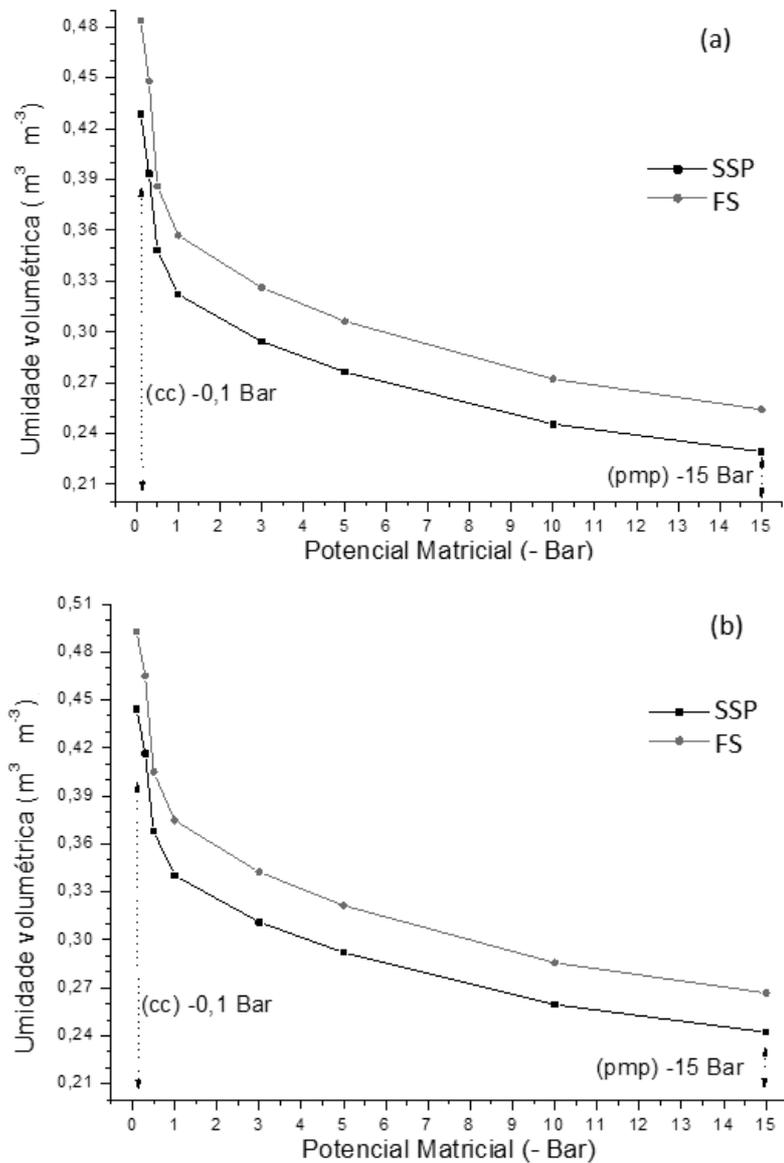
Esta afirmação pode ser embasada por autores como Haynes e Francis (1990), os quais demonstram o crescimento do sistema radicular das plantas poáceas como sendo responsável por ocasionar aumento na macroporosidade do solo, bem como Bertol et al. (2000) que destacam as raízes de pastagem ao serem decompostas como capazes de acarretar aumento do número de macroporos, influenciando a macroporosidade e a porosidade total. Sendo assim, estes resultados demonstram que o SSP promove maiores espaços ocupados por poros maiores, responsáveis pela infiltração de água e presença de ar.

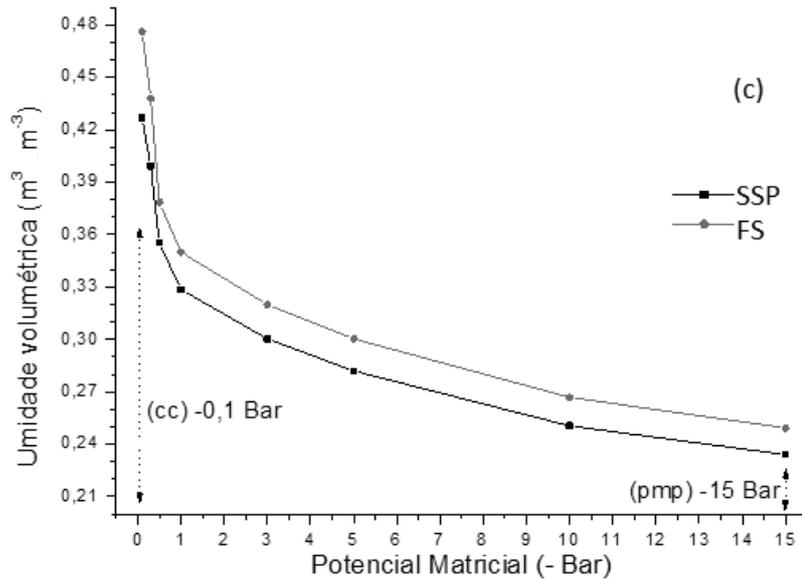
Com relação à microporosidade, é possível observar que os maiores resultados foram observados na FS, com valores entre 0,50 a 0,53  $\text{m}^3 \text{m}^{-1}$  ao longo do perfil do solo, sendo estes valores superiores estatisticamente quando comparados aos encontrados no SSP, o qual apresentou 0,44 a 0,45  $\text{m}^3 \text{m}^{-1}$  nas profundidades estudadas. Ressalta-se que Kiehl (1979) destaca o valor de 0,33 como considerado ideal para o desenvolvimento das plantas, desta forma, os valores encontrados no presente estudo podem ser considerados elevados. Este comportamento se assemelha ao encontrado por Alves et al. (2005) os quais verificaram redução significativa nos valores de microporosidade a medida que ocorreu aumento da profundidade em áreas de mata nativa, sendo que, este comportamento foi mais pronunciado a partir dos 20 cm de profundidade.

Marques et al. (2012) encontraram resultados que corroboram com os deste trabalho, estes autores avaliaram uma camada de 0 a 200 cm de profundidade, e encontraram valores de microporosidade variando entre 0,50 a 0,55  $\text{m}^3 \text{m}^{-1}$  ao longo do perfil em áreas de florestas secundárias, sendo estes valores superiores quando comparados a manejos de sistemas agrofloretais e áreas de pastagens, os quais apresentaram valores variando entre 0,46 a 0,5  $\text{m}^3 \text{m}^{-1}$  e 0,33 a 0,5  $\text{m}^3 \text{m}^{-1}$ , respectivamente. Martini et al. (2012) avaliando as propriedades físicas de um Nitossolo submetido a diferentes manejos agropecuários, relatam que sob mata nativa foram verificados valores de microporosidade maiores quando comparados a áreas de frutipastoril, principalmente nas camadas de até 0-15 cm profundidade, estes destacam que estas duas últimas áreas apresentaram valores menores do ideal segundo a definição de Kiehl (1979).

### 5.3 Curva retenção de água no solo

A Figura 16 apresenta as curvas de retenção de água nas camadas 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade, para as áreas SSP e FS. Nas tensões entre 0,1 bar e 15 bar, sendo estas respectivamente a capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Nestas é possível verificar que a área FS apresentou maior capacidade de retenção de água no solo em comparação a SSP, independente da profundidade analisada.





**Figura 16.** Curvas de retenção de água no solo em sistema silvipastoril (SSP) e floresta secundária (FS) nas camadas 0-20 cm (a); 20-40 cm (b) e 40-60 cm (c). CC corresponde à capacidade de campo em 0,1 bar e PMP corresponde a ponto de murcha permanente em 15 bar.

De acordo com Guimarães et al. (2014) as áreas sob domínio de floresta podem apresentar maior capacidade em armazenar água devido a melhor estrutura do solo. A maior e menor retenção de água no FS e SSP respectivamente, estão relacionadas com a micro e macroporosidade do solo, conforme demonstrado na Tabela 12, demonstrando que a maior retenção de água no solo obtida na FS se deve principalmente a maior microporosidade deste local. Estes resultados corroboram com Silva et al. (2008) e Ramos et al. (2013), os quais relatam maior capacidade na retenção de água no solo em função da microporosidade, bem como os de Araújo et al. (2004) ao destacar o aumento da densidade como o promotor de um aumento de água retida, o qual foi justificado devido a alteração na distribuição do tamanho de poros, com aumento de poros de menor diâmetro.

O processo de armazenamento e circulação da água é regulado pela estruturação do solo (BRONICK e LAL, 2005). Os microporos apresentam a função em armazenar a água no solo, uma vez que a formação de poros com menor diâmetro favorece a retenção de água por capilaridade. Entretanto, em alta concentração, a microporosidade pode reter a água mesmo em tensões elevadas, dificultando a absorção das plantas (DEXTER, 2004; RAMOS et al., 2013).

#### 5.4 Resistência mecânica a penetração do solo e umidade no momento da coleta

Os resultados obtidos para resistência mecânica à penetração e umidade do solo no momento da avaliação estão apresentados nas Tabelas 4 e 5 para as respectivas variáveis. Destaca-se que não houve interação entre os dois locais e as distintas profundidades analisadas.

**Tabela 13.** Médias dos valores de RMP (MPa) em Sistema Silvipastoril e Floresta Secundária em três profundidades do solo

Profundidade (cm)	Sistema Silvipastoril	Floresta secundária	Médias
0-20	0,90	0,79	0,85 b*
20-40	1,04	0,97	1,01 a
40-60	1,13	1,04	1,09 a
Médias	1,02 a	0,94 a	

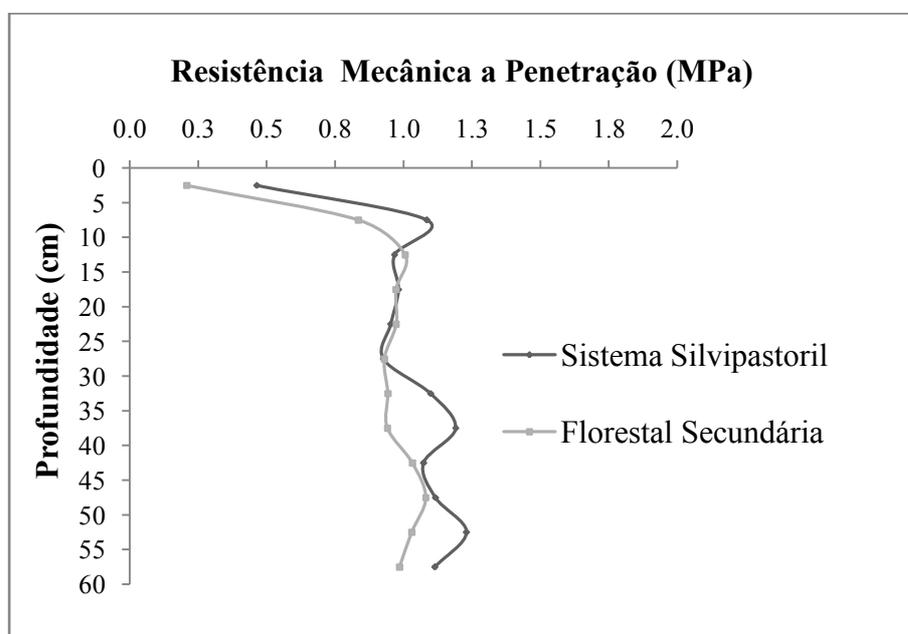
\*As médias seguidas pela mesma letra na linha e na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey e Student respectivamente, ao nível de 1% de probabilidade de erro.

Os valores obtidos neste trabalho demonstraram níveis de adensamento não prejudiciais ao desenvolvimento das espécies vegetais presentes no local. É descrito na literatura que valores de RMP acima 2 MPa promovem limitação no crescimento e desenvolvimento do sistema radicular de plantas agrícolas, bem como valores superiores 2,5 a 3,0 MPa são considerados limitantes ao desenvolvimento das espécies florestais (ZOU et al., 2001; BLAINSKI et al., 2008). Na classificação proposta por Arshad et al. (1996), são estabelecidas as classes: a) extremamente baixa:  $RP < 0,01$  MPa; b) muito baixa:  $0,01 \leq RP < 0,1$  MPa; c) baixa:  $0,1 \leq RP < 1,0$  MPa; d) moderada:  $1,0 \leq RP < 2,0$  MPa; e) alta:  $2,0 \leq RP < 4,0$  MPa; f) muito alta:  $4,0 \leq RP < 8,0$  MPa; e g) extremamente alta:  $RP > 8,0$  MPa. Assim, nesta última classificação a qual se apresenta mais abrangente, os valores encontrados neste trabalho se encontram entre baixa e moderada RMP, sendo os valores acima de 1,0 MPa encontrados em maiores profundidades.

Na Tabela 13 pode ser verificado que não houve diferença entre os dois locais para a variável RMP. Houve diferença significativa apenas no que se refere às profundidades, de forma que a profundidade 0-20 cm apresentou RMP estatisticamente menor em comparação a 20-40 e 40-60 cm. Este comportamento corrobora com Mota et al. (2011) e Ibiapina et al.

(2014) os quais observaram aumento significativo na RMP em função do aumento da profundidade a partir dos 20 cm para áreas de mata nativa. Lima et al. (2013) verificaram este mesmo comportamento avaliando um sistema silvipastoril. Dalben e Osaki (2008) verificaram aumento significativo da RMP em floresta nativa a cada cinco cm de profundidade do solo, sendo os maiores valores encontrados nas camadas a partir de 20 cm de profundidade.

Em sistema silvipastoril, Lima et al. (2014) verificaram comportamento semelhante aos deste estudo, encontrando aumento da RMP a medida em que aumentava a profundidade, este autor relata ainda que os maiores valores foram obtidos a partir de 20-30 cm profundidade. A Figura 17 apresenta o comportamento gráfico da RMP ao longo do perfil do solo nas duas áreas.



**Figura 17.** Comportamento da RMP ao longo da profundidade analisada em sistema silvipastoril e floresta secundária.

Os maiores valores de RMP observados a partir dos 20 cm de profundidade neste estudo podem estar associados à densidade do solo, sendo ocasionado pela redução nos teores de matéria orgânica conforme ocorre aumento da profundidade. De acordo com Reichert et al. (2007) solos em áreas florestais podem concentrar e manter a umidade do solo estável devido ao sombreamento e acúmulo de matéria orgânica da serrapilheira proveniente das árvores. Desta forma, é possível visualizar o mesmo comportamento dos resultados para as variáveis Ds e RMP, o que é colaborado pelos resultados de Azevedo e Sverzut (2007) os quais

afirmam que a RMP ocorre em função da densidade do solo, justificando assim o comportamento da curva da RMP presente na Figura 16. Deste modo, é possível verificar que o SSP apresenta comportamento semelhante à floresta secundária para esta variável estudada.

No que se refere à umidade do solo, os dados obtidos no momento da coleta da RMP estão presentes na Tabela 14. Para esta variável igualmente não houve interação entre os locais e as diferentes profundidades analisadas. Houve diferença significativa apenas entre as camadas de 0-20 e 40-60 cm de profundidade, na qual a profundidade 0-20cm demonstrou maior umidade volumétrica, não houve diferença significativa para esta variável entre os dois locais.

**Tabela 14.** Médias dos valores da umidade do solo em % em Sistema Silvipastoril e Floresta Secundária em três profundidades do solo.

Profundidade (cm)	Sistema Silvipastoril	Floresta secundária	Médias
0-20	54	58	56 a*
20-40	52	55	53 b
40-60	51	54	53 b
Médias	53 a	55 a	

\*\*As médias seguidas pela mesma letra na linha e na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey e Student respectivamente, ao nível de 1% de probabilidade de erro.

Embora sem que houvesse diferença estatística, observa-se que o sistema silvipastoril apresentou menor umidade comparativamente à área FS, fato atribuído, provavelmente, a maior drenagem profunda, favorecida pelos macroporos (BOUMA, 1991), ou ainda à possível maior taxa de evaporação de água do solo ocasionada por uma menor cobertura deste (MENEZES et al., 2013).

Destaca-se que este mesmo comportamento estatístico foi verificado para a variável microporosidade, a qual é definida como a responsável pelo armazenamento de água no solo e sendo assim, estes resultados podem estar relacionados à maior capacidade de retenção de água neste local, o que fornece maior teor de umidade no solo quando este se encontra próximo da capacidade de campo.

## 6. CONCLUSÕES

Para as variáveis: densidade, porosidade total e RMP, tanto a floresta secundária como o sistema silvipastoril apresentaram comportamentos descritos como de solos em locais não alterados, demonstrando não haver influência negativa do sistema silvipastoril sobre a qualidade física do solo. Apenas na distribuição de poros foi possível verificar diferença entre os dois locais, demonstrando que o isolamento da área de floresta secundária foi capaz de passados 20 anos, modificar estes atributos, tornando-os idênticos a áreas de florestas naturais.

Sugere-se que a presença de poáceas tenha sido a responsável por uma maior macroporosidade na área com sistema silvipastoril, o que favorece a qualidade física do solo neste sistema. A área de floresta secundária apresentou valores de macro e microporosidades comuns a florestas nativas. Devido à diferença que ocorreu na relação de macro e microporos, conseqüentemente houve alteração nas curvas de retenção de água no solo e no teor de umidade do solo nos dois locais.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- ALTIERI, M. A. Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar. **Revista NERA**, v. 13, n.6, p.22-32, 2010.
- ALVES, M.C.; SUZUKI, L.E.A. S.; HIPÓLITO, J.L.; CASTILHO, S.R. Propriedades físicas e infiltração de água de um Latossolo Vermelho Amarelo (Oxisol) do noroeste do estado de São Paulo, Brasil, sob três condições de uso e manejo. **Cadernos do Laboratório Xeolóxico de Laxe**, Corunã, v.30, n.9, p.167-180, 2005.
- ANDRADE, C. M. S.; VALETIM, J. F.; CARNEIRO, J. da C.; VAZ, F. A. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 263-270, 2004.
- ARAGÃO, D. V. de.; CARVALHO, C. J. R. de.; KATO, O. R.; ARAÚJO, C. M.; SANTOS, M. P. dos.; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n.1, p.11-18. 2008.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; INOUE, T. T. C. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférrico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.495-504, 2004.
- ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distroférico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.337-345, 2006.
- ARAÚJO, A. S. F. de.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n.3, p.66-75, 2007.
- ARAÚJO, E. A. de.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, Guarapuava, v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- ARSHAD, M. A. et al. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**.Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141.
- AZAR, G. S.; ARAÚJO, A. S. F. de; OLIVEIRA, M. E. de.; AZEVEDO, D. M. M. R. Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e silvipastoril. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2727-2736, 2013.
- AZEVEDO, E. C.; SVERZUT, C. B. Alterações dos atributos físicos e químicos do solo

sob pastagem no sudoeste do estado de Mato Grosso. **Revista Agropecuária Tropical** Cuiabá, v. 9, n. 1, p.7-23, 2007.

BALL, B.C.; DOUGLAS, J.T. A simple procedure for assessing soil structural, rooting and surface conditions. **Soil Use and Management**, Perth v.19, n.1, p.50–56, 2003.

BALL, B.C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L.J. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. **Soil Use and Management**, Perth, v.23, n.4, p.329-337, 2007.

BATEY, T. Soil profile description and evaluation. In: SMITH, K.A.; MULLIN, C.E. **Soil and environmental analysis: physical methods**. 2 ed. New York: Marcel Dekker, 2000, p.595-628.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, v.41, n.3, p.341-358, 1990.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. de.; ALMEIDA, E. X. de.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de Capim-Elefante-Anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p.1047-1054, 2000.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 7, p. 849-856, jul. 2003.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v.32, p. 975-983, 2008.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. da.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.4, p. 605-614, 2006.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CARVALHO, M. A. de.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M. da.; PASSOS, R. R.; ARAUJO, C. A. de S. Composição granulométrica, densidade e porosidade agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.10, p.1010–1016, 2014.

CASTRO, A. C.; JÚNIOR, J. de B. L.; SANTOS, N. de F. A. dos.; MONTEIRO, E. M. M.; AVIZ, M. A. B. de.; GARCIA, A. R. Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para

elevar o desempenho produtivo de búfalos. para elevar o desempenho produtivo de búfalos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.8, p.2395-2402, 2008.

CASTRO, M. A.; CUNHA, F. F.; LIMA, S. F.; NETO, V. B. de P.; LEITE, D. A. P.; MAGALHÃES, F. F.; CRUZ, G. H. M. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-MatoGrossense. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v.3, n.2, p. 498-512, 2012.

CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N.; SOUZA, Z.M. Physical attributes of kaolinitic and oxidic oxisols resulting from different usage systems. **Brazilian Archives of Biology Technology**, Curitiba, v.47, n.5, p.725-732, 2004.

CENTURION, J. F.; FREDDI, O. da S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F. M.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos vermelhos **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.2, p. 199-209, 2007.

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; GOEDERT, W. J.; KATO, E. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelo sistema plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 527-535, 2003.

COSTA, W. A.; OLIVEIRA, C. A. da S.; KATO, E. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água de um Latossolo-vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.515-523, 2008.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 589-602, 2011.

DALBEN, A. D.; OSAKI, F. Atributos físicos do solo de um cambissolo háplico em floresta nativa e de Pinus taeda. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 29-37, 2008.

DAUBENMIRE, R. **Plant communities: a textbook of plant synecology**. New York: Harper & Row, 1968. 300p.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004.

DIAS-FILHO, M. B. **Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens degradadas**. Belém: Embrapa Amazônica Ocidental, 2006, 34p. (Documentos, 258).

DIAS-FILHO, M. B.; FERREIRA, J. N. **Barreiras à adoção de sistemas silvipastoris no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônica Ocidental, 2008, 22p. (Documentos, 347).

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. *In*: DORAN, J. W. *et al.* **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America Proceedings, 1994. p. 03-21.

EURICH, J.; NETO, P. H. W.; ROCHA, C. H.; SANTOS, Z. R. dos. Avaliação visual da qualidade da estrutura do solo em sistemas de uso das terras. **Ceres**, Viçosa, v. 61, n.6, p. 1006-1011, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de Solo**. 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Determinação da curva de retenção de água no solo em laboratório**. Teresina, PI: Embrapa Meio Norte, 2007, 2p.  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. rev. ampl. : Brasília, DF. 2013. 353p.

FEY, R; MALAVASI, U. C. Sistema Silvipastoril: uma revisão com apontamentos a agricultura familiar. *In*: KUHN, O. J.; FEY, R.; PRIOR, M.; KLEIN, J.; NUNES, R. V.; STANGARLIN, J. R.; FUJIHARA, R. T. **Avanços tecnológicos com responsabilidade ambiental da produção agropecuária**. 1 ed. Cascavel: ASSOESTE, 2013, p.31-53.

FRANKE, I. L.; FURTADO, S. C. **Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens degradadas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001, 51p. (Documentos, 74).

GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; BALL, B. Método de avaliação visual da qualidade da estrutura aplicado a Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.8, p.2531-2534, 2009.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; BALL, B.; ROSA, J.A. Visual soil structure quality assessment on Oxisols under no-tillage system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.4, p.479-482, 2010.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. 2006. Disponível em: <  
[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes\\_Filizola\\_indicadoresID-u1keja1HAN.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes_Filizola_indicadoresID-u1keja1HAN.pdf)>. Acesso em 14 de outubro de 2014.

GOBBI, J. A.; CASASOLA, F. Portamiento financiero de la inversión em sistemas silvipastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. **Agroforestería en las Américas**, v. 10, n.39-40, p. 52-60, 2003.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**, Perth,, v.27, n.3, p.395-403, 2011.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F.; B.; SILVA, A. P. da. Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. **Soil & Tillage Research**, v.127, n.3, p.92–99, 2013.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; ARAÚJO, E. M.; NETO, J. de O. N.; JÚNIOR, J. I. Impacto do cultivo de citros sobre a qualidade física de um argissolo amarelo em Sergipe. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 3, p. 183 – 189, 2014.

HAYNES, R. J.; FRANCIS, G. S. Effects of mixed cropping farming systems on changes in soil properties on the Canterbury Plains. **New Zealand Journal of Ecology**, Lincoln, v. 14, n.1, p.73-82, 1990.

HASINGER, G.; NIEVERGELT, J.; PETRASEK, M.; WEISSKOPF, P. **Observer et évaluer la structure du sol**. Switzerland: Agroscope FAL Reckenholz, 2004, 101p.

HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; FERREIRA, T. S.; SOUZA, S.T.; GOMES, J. P.; SILVA, K. M.; SANTOS, K. F. ; LINKE, C. ; PAULINO, P. S. Influência de variáveis ambientais sobre o padrão estrutural e florístico do componente arbóreo, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Lages, SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v.22, p.79-90, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2 ed. rev. ampl. . Rio de Janeiro - RJ: 2012. 217 p.

IBIAPINA, T. V. B.; SALVIANO, A. A. C.; NUNES, L. A. P. L.; MOUSINHO, F. E. P.; LIMA, M. G.; SOARES, L. M. dos S. Resistência à penetração e agregação de um Latossolo Amarelo sob monocultivo de soja e de eucalipto no cerrado do Piauí. **Científica**, Jaboticabal, v.42, n.4, p.411–418, 2014.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B. dos.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagem e áreas cultivadas. Pesquisa **Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.38, n.2, p.118-127, 2008.

JORGE, R. F.; ALMEIDA, C. X. de.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R. Distribuição de poros e densidade de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n.1, p.159-169, 2012.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n.1, p. 857-867, 2002.

KLEIN, V.A., **Física do solo**-2ª ed., Passo Fundo, UPF Editora, 240p.,2012.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. Part 1. p.635-662.

KÖPPEN, W. **Climatologia: com um estudio de los climas de La tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478p.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; SULVA, P. B.; CARDOSO, M. M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 33-40, 2012

LEITE, F.; SANTOS, J. E. G. dos.; LANÇAS, K. P. Comparação da resistência do solo à penetração entre penetrômetro elétrico-eletrônico e penetrógrafo manual. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.3, n.1, p.32-39, 2010.

LIMA, R. P. de.; LEÓN, M. J. de.; SILVA, A. R. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.4, p. 577-581, 2013.

LIMA, I. M. A.; ARAÚJO, M. C.; BARBOSA, R. S. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro-norte, estado do Piauí. ACSA – **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Mossoró, v.9, n.1, p.117-124, 2013.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYD, J. A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparado a mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agrovetinárias**, Lages, v.9, n.1, p.09-19, 2010.

MACHADO, J. L.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; SCAPIM, C. A. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p. 495-502, 2008.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semi-árido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 837-848, 2006.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 349-354, 2011.

MARASCA, I.; OLIVEIRA, C. A. A.; GUIMARÃES, E. C.; CUNHA, J. P. A. R.; ASSIS, R. L.; PERIN, A.; MENEZES, L. A. S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto, na cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.2, p.239-246, 2011.

MARQUES, J. D. de O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; FERREIRA, S. F. Variação do carbono orgânico dissolvidos e de atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.2, p.611-622, 2012.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, Lavras, v.8, n.1, p.32-41, 2002.

MARTINS, J. C. R.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SANTOS, A. F. dos.; NAGAI, M. A. Produtividade de biomassa em sistemas agroflorestais e tradicionais no Cariri Paraibano. **Revista Brasileira da Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v.17, n.6, p.581-587, 2013.

MARTINI, I. C.; ROSA, D. P. da; TRINDADE, F. dos S.; SILVA, K. P. X. da; LUNEDO, P.; MARCILLI, G.; TAMIOZZO, M. C.; CAMILLO, M. F. Propriedades físicas de um Nitossolo sob diferentes usos de exploração agropecuária. **RAMVI**, Getúlio Vargas, v.1, n.1, p.1-12, 2014.

MAZON, J. A. **Composição florística e fitossociológica de Floresta Ombrófila Mista em áreas sob manejo silvipastoril e sucessão secundária**. 2014. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati. 2014.

MELLO, C.R.; OLIVEIRA, G.C.; FERREIRA, D.F.; LIMA, J.M. Predição da porosidade drenável e disponibilidade de água para Cambissolos da Microregião Campos das Vertentes, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.1319-1324, 2002.

MENEZES, J. A. L. de.; SANTOS, E. M. dos.; MONTENEGRO, A. A. de A.; SILVA, J. R. da. Comportamento temporal da umidade do solo sob Caatinga e solo descoberto na Bacia Experimental do Jatobá, Pernambuco. **Water Resources and Irrigation Management**, Campina Grande, v.2, n.1, p.45-51, 2013.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1149-1159, 2003.

MONTANARI, R.; ZAMBIANCO, E. C.; CORRÊA, A. R.; PELLIN, D. M. P.; CARVALHO, M. P.; DALCHIAVON, F. C. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho correlacionados linear e espacialmente com a consorciação de guandu com milheto. **Revista Ceres**, v.59, n.1, p.125-135, 2012.

MOTA, M. S.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; SILVA, W. M.; MAGALHÃES, W. A.; CREMON, T. Qualidade e atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico típico em diferentes sistemas de manejo. **Revista Agrarian**, Dourados, v.4, n.12, p.105-112, 2011.

MÜLLER, L.; KAY, B. D.; DEEN, B. HU, C.; ZHANG, Y.; WOLFF, M.; EULENSTEIN, F.; SCHINDLER, U. Visual assessment of soil structure: Part II. Implications of tillage, rotation and traffic on sites in Canada, China and Germany. **Soil & Tillage Research**, v.103, n.3, p.188-196, 2009.

NAIR, P. K. R. **An introduction to agroflorestry**. Dordrecht: Kluwer, 1993. 499 p.

NETTO, I. T. P.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.5, p. 1441-1448, 2009.

NETO, E. L. de. S. ANDRIOLI, I.; ALMEIDA, R. G. de.; MACEDO, M. C. M.; LAL, R. Physical quality of an Oxisol under an integrated crop-livestock-forest system in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.2, p. 608-618, 2014.

NSRI – NATIONAL SOIL RESOURCES INSTITUTE **A guide to better soil structure**. Silsoe: Cranfield University, 2001, 20p.

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B. de.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C. F.; ROSSIELLO, R. O. P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, 2007.

PALUDO, R.; COSTABEBER, J. A. Sistemas agroflorestais como estratégia de desenvolvimento rural em diferentes biomas brasileiros. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Espírito Santo, v.7, n.2, p.63-76, 2012.

PEQUENO, P. L. de L. **Noções básicas de uso e manejo do solo**. Porto Velho, RO: EDUFRO, 2013, 59p.

PEZZONI, T.; VITORINO, A. C. T.; DANIEL, O.; LEMPP, B. Influência de *Pterodon emarginatus* Vogel sobre atributos físicos e químicos do solo e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* Stapf em sistema silvipastoril. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 293-301, 2012.

RABELO, N. A. **Método de Análise**. Goiânia: Ed. UCG, 2000. 88p. (Cadernos Didáticos; 12).

RAMOS, B. Z.; PAIS, P. S. M.; FREITAS, W. F.; JUNIOR, M. de S. D. Avaliação dos atributos físico-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de manejo- Lavras/Minas Gerais/Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v.36, n.3, p.340-346, 2013.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Piracicaba: Manole, 2004. 478p.

REICHERT J.M. et al. Compactação de solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade brasileira de ciência do solo, v. 5, p. 49-134., 2007.

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F. & SAMPAIO, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.4, p.1167-1175, 2007.

ROGER-ESTRADE, J., RICHARD, G., CANEILL, J., BOIZARD, H., COQUET, Y., DEFOSSEZ, P. & MANICHON, H. Morphological characterization of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.79, n.1, p.33-49, 2004.

SÁ, M. A. C.; JUNIOR, J. de D. dos S. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetativo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005, 26p. (Documentos, 136).

SANTOS, G. G.; SILVA, E. M.; MARCHÃO, R. L.; SILVEIRA, P. M.; BRUAND, A.; JAMES, F.; BECQUER, T. Analysis of physical quality of soil using the water retention curve: Validity of the S-index. **Comptes Rendus Geoscience**, Elsevier, v.343, n.4, p.295-301, 2011.

SANTOS, M. J. dos.; SANTOS, F. R. Leguminosas arbustivas - arbóreas em sistema silvipastoril no semi – árido sergipano para alimentação de ovinos. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Sergipe, v.07, n 03, p. 25–30, 2011.

SEIXAS, F.; SOUZA, C. R. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à frequência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, v.31, n.6, p.1047-1052, 2007.

SHEPHERD, T.G.; ROSS, C. W.; BASHER, L. R.; SAGGAR, S. **Visual soil assessment: Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country**. Palmerston North: Horizonsmw andLandcareResearch, 2000, 44p.

SILVA, M. L. da.; LÓPEZ, J. C. F.; ALVES, J. U. PASSOS, C. A. Avaliação econômica de sistemas agroflorestais com eucalipto-arroz e eucalipto-feijão no município de Divinópolis-MG, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n.2, p.209-216, 2001.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Agroindústria**, Campina Grande, v.4, n.1, p.71-78, 2002.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; LIMA, J.F.W.F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n.2, p.833-842, 2005.

SILVA, F. de F.; FREDDI, O. da S.; CENTURION, J. F.; ARATANI, R. G.; ANDRIOLI, F. F.; ANDRIOLI, I. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.2, p.191-204, 2008.

SILVA, E. A. da.; OLIVEIRA, C. de O.; CARDUCCI, C. E.; PETER, P. H. C. R.; LIMA, I. da S. Análise visual da qualidade estrutural de solos cultivados com cafeeiros. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 22., 2013, Lavras, **Anais...** Lavras: UFLA, 2013, p.1-4.

SILVA, R. L.; MATIAS, S. S. R.; LOBATO, M. G. R.; NOBREGA, J. C. A. Atributos físicos do solo em diferentes coberturas vegetais na região do Piauí. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 3, p. 160-168, 2014.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p. 659-667, 2010.

SOUZA, J. M.; BONOMO, R.; PIRES, F. R.; BONOMO, D. Z. Curva de retenção de água e condutividade hidráulica do solo, em lavoura de café conilon submetida a subsolagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 226-236, 2014.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, R. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1301–1309, 2013.

STONE, R.J.; EKWUE, E.I. Maximum bulk density achieved during soil compaction as affected by the incorporation of three organic materials. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, Michigan, v.36, n.6, p.1713-1719.1993.

TORRES, E.; SARAIVA, O.F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. (Embrapa Soja.Circular Técnica, 23).

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDE, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2002. v.2, p.195-276.

TORMENA, C. A.; BARBOZA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Scientia Agrícola**, São Paulo, v.59, n.4, p.795-801. 2002.

USDA-UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Soil survey manual**. Washington: Soil Survey Division Staff, 1993. 437p. (Handbook, 18).

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.4, p.743-755, 2009.

ZHANG, H.; HARTGE, K.H.; RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactability. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n.1, p.239-245, 1997.

ZOU, C.; PENFOLD, C.; SANDS, R.; MISRA, R.K.; HUDSON, I. Effects of soil air-filled porosity, soil matric potential and soil strength on primary root growth of radiata pine seedlings. **Plant and Soil**, v.236, p.105-115, 2001.

## CONCLUSÃO GERAL

O manejo da área em sistema silvipastoril com espécies nativas e espaçamento aleatório não alterou o crescimento médio em diâmetro de *A. angustifolia*, porém, ocorrem diferenças nas cronologias em comparação a área de floresta secundária, ocasionadas provavelmente devido ao maior adensamento desta última, em função de um microclima diferente.

Com relação à influência do clima sobre o crescimento diamétrico de *A. angustifolia*, a precipitação demonstrou afetar mais fortemente este componente do crescimento em comparação à temperatura média na região de Guarapuava-PR, tal fato ocorreu tanto em árvores sob sistema silvipastoril quanto sob floresta em estágio secundário de regeneração.

Em relação aos atributos físicos do solo, a alteração do sistema de manejo silvipastoril para floresta secundária ocasionou alterações na distribuição de poros do solo, com o aumento da microporosidade e, conseqüentemente da capacidade de armazenamento de água no solo. A área sob sistema silvipastoril apresentou maior macroporosidade, demonstrando a influência positiva da presença de gramíneas sobre esta variável.

Pode-se considerar o sistema silvipastoril natural analisado como sendo capaz de manter a sustentabilidade ambiental no local quando comparado a uma área com floresta secundária, já que o solo não apresentou características de degradação oriundas de sua utilização como sistema de produção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS<sup>1</sup>

ANDRADE, C. M. S.; SALMAN, A. K.; OLIVEIRA, T. K. **Guia do Arbopasto: Manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris**. Brasília-DF: EMBRAPA, 345 p. 2012.

MAZON, J. A. **Composição florística e fitossociológica de Floresta Ombrófila Mista em áreas sob manejo silvipastoril e sucessão secundária**. 2014. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati. 2014.

SANQUETTA, C. R. Análise da estrutura vertical de florestas através do diagrama hm. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v. 5, n. 1, p. 55-67, 1995.

SILVA, I. C.; GOMES, G. S. Sistemas agroflorestais: bases conceituais e uso no sul do Brasil. In: LOPES, E.S.; ARAUJO, A. J. L., K.C. (Ed.). **SEMANA DE ESTUDOS FLORESTAIS**, Irati, PR: UNICENTRO, 2007. p.23 - 43.

---

<sup>1</sup> Referentes a introdução geral