

TESE DE DOUTORADO

**PRODUTIVIDADE, CICLAGEM DE
NUTRIENTES E ÍNDICES DO
SISTEMA DRIS EM PLANTIOS DE
PINUS SUBMETIDOS À ADUBAÇÃO
NPK EM TRÊS IDADES**

LETÍCIA MORO

LAGES, 2017

LETÍCIA MORO

**PRODUTIVIDADE, CICLAGEM DE NUTRIENTES E ÍNDICES DO SISTEMA DRIS
EM PLANTIOS DE PINUS SUBMETIDOS À ADUBAÇÃO NPK EM TRÊS IDADES**

Tese apresentada ao curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, no Centro de Ciências Agroveterinárias como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Paulo Cezar Cassol
Coorientador: Dr. Luciano Colpo Gatiboni

**LAGES, SC
2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC**

Moro, Letícia

Produtividade, ciclagem de nutrientes e índices
do sistema DRIS em plantios de pinus submetidos à
adubação NPK em três idades / Letícia Moro. - Lages ,
2017.
92 p.

Orientador: Paulo Cezar Cassol

Co-orientador: Luciano Colpo Gatiboni
Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Lages, 2017.

1. Macronutrientes. 2. Épocas de fertilização. 3.
Serapilheira. 4. Diagnose foliar. I. Cassol, Paulo
Cezar. II. Colpo Gatiboni, Luciano. , .III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência do Solo. IV. Título.

LETÍCIA MORO

PRODUTIVIDADE, CICLAGEM DE NUTRIENTES E ÍNDICES DO SISTEMA DRIS EM PLANTIOS DE PINUS SUBMETIDOS À ADUBAÇÃO NPK EM TRÊS IDADES

Tese apresentada ao curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, no Centro de Ciências Agroveterinárias como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Banca Examinadora:

Orientador: _____

(Dr. Paulo Cezar Cassol)
UDESC

Coorientador: _____

(Dr. Luciano Colpo Gatiboni)
UDESC

Membros:

Hamilton Vogel

(Dr. Hamilton Luiz Munari Vogel)
UNIPAMPA

(Dr. Jaime Antônio de Almeida)
UDESC

(Dra. Marcia Aparecida Simonete)
Blumeterra Serviços e Comércio

(Dr. Marcio Carlos Navroski)
UDESC

O mundo é meu país, a ciência é minha religião.
(Christiaan Huygens)

RESUMO

A região do Planalto Sul Catarinense destaca-se como polo de produção de madeira e celulose de *Pinus*. A atividade teve grande impulso a partir da década de 1970 e atualmente muitas áreas já se encontram em segunda ou terceira rotação de *Pinus* sem ter recebido nenhuma fertilização. Com isso, a produtividade pode estar sendo limitada pela baixa fertilidade do solo. Entre as alternativas para a correção desta deficiência destaca-se a adubação nos povoamentos já estabelecidos. O estudo da ciclagem de nutrientes e a avaliação do estado nutricional dos povoamentos, através da determinação de valores de referência do DRIS, também são subsídios importantes para a tomada de decisão visando o aumento da produtividade. Com o objetivo de avaliar o efeito da adubação com os nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em diferentes fases de crescimento de *Pinus taeda*, foram realizados experimentos a campo em povoamentos submetidos à fertilização aos um, cinco e nove anos de idade, todos de segunda rotação, sobre Cambissolos no município de Otacílio Costa/SC. Os tratamentos consistiram de fertilizações com doses de nitrogênio ($N_0=0$, $N_1=70$ e $N_2=140$ kg ha^{-1}), de fósforo ($P_0=0$, $P_1=75$ e $P_2=150$ kg ha^{-1}) e de potássio ($K_0=0$, $K_1=60$ e $K_2=120$ kg ha^{-1}), além de uma testemunha, nas seguintes combinações: $N_0P_0K_0$, $N_0P_1K_0$, $N_1P_1K_1$, $N_1P_2K_1$, $N_1P_2K_2$ e $N_2P_2K_1$. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições. Foram determinados o Incremento Corrente Anual (ICA), Incremento Médio Anual (IMA), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), os teores de P, K, Ca e Mg disponíveis no solo; teores de N, P, K, Ca e Mg nas acículas; a massa seca e aporte de N, P, K, Ca e Mg pela serapilheira. A partir da produtividade e dos teores de nutrientes nas acículas, foram calculados os índices DRIS. O *Pinus taeda* apresentou incremento no volume de madeira em respostas à adubação NPK nos povoamentos adubados aos cinco e nove anos, tendo esse os maiores VPL e TIR. Constataram-se incrementos nos teores de P, K e Ca dos solos dos três povoamentos. A adubação em povoamentos estabelecidos não teve influência na quantidade de deposição de serapilheira. A deposição de serapilheira e aporte de nutrientes por meio dela sofreram influência da temperatura, precipitação e idade das árvores. O aporte de nutrientes junto à serapilheira seguiu a seguinte ordem: $N>P>K>Mg>Ca$. Pelo diagnóstico através do DRIS, as ordens de limitação dos nutrientes nos povoamentos de cinco, nove e treze anos foram, respectivamente: $N>P>Ca>K>Mg$, $N>K>Ca>Mg>P$ e $N>P>K>Mg>Ca$.

Palavras-chave: Macronutrientes. Épocas de fertilização. Serapilheira. Diagnose foliar.

ABSTRACT

The region of Planalto Sul Catarinense stands out as a pole of production of wood and pulp of *Pinus*. The activity has had great impetus since the 1970s and currently many areas are already in the second or third rotation of *Pinus* without receiving any fertilization. With this, productivity may be being limited by low soil fertility. Among the alternatives to correct this deficiency is the fertilization in stands already established. The study of nutrient cycling and evaluation of the nutritional status of the stands, through determination of reference values of the DRIS, are also important subsidies for the decision making aiming at increasing productivity. In order to evaluate the effect of fertilization with nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) nutrients in different stages of *Pinus taeda* growth, field experiments were carried out on stands subject to fertilization at one, five and Nine years old, all of second rotation, on Cambisols in the municipality of Otacílio Costa/SC. The treatments consisted of fertilization with nitrogen ($N_0=0$, $N_1=70$ e $N_2=140$ kg ha^{-1}), phosphorus ($P_0=0$, $P_1=75$ and $P_2=150$ kg ha^{-1}) and potassium ($K_0=0$, $K_1=60$ e $K_2=120$ kg ha^{-1}), in addition to a control, in the following combinations: $N_0P_0K_0$, $N_0P_1K_0$, $N_1P_1K_1$, $N_1P_2K_1$, $N_1P_2K_2$ and $N_2P_2K_1$. The experimental design was a randomized block design with three replicates. The Annual Current Increase (ICA), Annual Average Increase (IMA), Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) were determined, the levels of P, K, Ca and Mg available in the soil; N, P, K, Ca and Mg contents in the needles; The dry mass and the contribution of N, P, K, Ca and Mg by litter. From the productivity and contents of nutrients in the needles, the DRIS indices were calculated. *Pinus taeda* presented an increase in the volume of wood in response to NPK fertilization in fertilized stands at five and nine years, with the highest NPV and IRR. Increases in P, K and Ca contents of the soils of the three stands were observed. Fertilization in established stands had no influence on the amount of litter deposition. The deposition of litter and nutrient supply through it were influenced by the temperature, precipitation and age of the trees. The contribution of nutrients to the litter proceeded in the following order: N>P>K>Mg>Ca. For the diagnosis through the DRIS, nutrient limitation orders in stands of five, nine and thirteen years were, respectively: N>P>Ca>K>Mg, N>K>Ca>Mg>P and N>P>K>Mg>Ca.

Keywords: Macronutrients. Fertilization times. Litter. Leaf diagnosis.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos dos solos nas áreas experimentais das florestas de <i>Pinus taeda</i> , localizadas em Otacílio Costa/SC	28
Tabela 2 - Incremento Corrente Anual do volume de fuste (ICA), em florestas de <i>Pinus taeda</i> com idades de cinco, nove anos e treze anos, que receberam diferentes adubações com N, P e K aos um, cinco e nove anos, respectivamente	32
Tabela 3 - Valor Presente Líquido – VPL (R\$) e Taxa Interna de Retorno – TIR (%) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com idades de cinco, nove anos e treze anos, que receberam diferentes adubações com N, P e K aos um, cinco e nove anos de idade, respectivamente, em Otacílio Costa/SC	37
Tabela 4 - Atributos dos solos nas áreas experimentais das florestas de <i>Pinus taeda</i> , localizadas em Otacílio Costa/SC	45
Tabela 5 - Teores médios de fósforo e potássio extraíveis (Mehlich) e cálcio e magnésio trocáveis nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, Em Cambissolo sob florestas de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, após quatro anos da adubação com N, P e K em diferentes combinações de doses, localizadas em Otacílio Costa/SC	47
Tabela 6 – Deposição de massa seca de serapilheira durante as estações e no ciclo anual em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados um, cinco e nove anos respectivamente, localizados em Otacílio Costa/SC	50
Tabela 7 - Aporte de nitrogênio via serapilheira ao longo das estações (03/2014 a 03/2015) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos nos diferentes tratamentos respectivamente, localizados em Otacílio Costa/SC	54
Tabela 8 - Aporte de fósforo ao longo das estações (03/2014 a 03/2015) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, nos diferentes tratamentos, localizados em Otacílio Costa/SC	57
Tabela 9 - Aporte de potássio ao longo das estações (03/ 2014 a 03/2015) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, nos diferentes tratamentos, localizados em Otacílio Costa/SC	60

Tabela 10 - Aporte de cálcio ao longo das estações (03/2014 a 03/2015) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, nos diferentes tratamentos, localizados em Otacílio Costa/SC	62
Tabela 11 - Aporte de magnésio ao longo das estações (03/ 2014 a 03/2015) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, nos diferentes tratamentos, localizados em Otacílio Costa/SC	65
Tabela 12 - Coeficientes de correlação simples de Pearson entre os dados meteorológicos de temperatura (°C) e precipitação (mm), massa seca de serapilheira (kg ha ⁻¹), e o aporte dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg (kg ha ⁻¹), em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> cum cinco, nove e treze anos, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos de idade, em Otacílio Costa/SC.....	69
Tabela 13 - Coeficientes de correlação simples de Pearson entre os teores de P, K, Ca e Mg no solo e seus respectivos aportes pela serapilheira em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> cum cinco, nove e treze anos, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos aos um, cinco e nove anos de idade, em Otacílio Costa/SC	70
Tabela 14 - Atributos dos solos nas áreas experimentais das florestas de <i>Pinus taeda</i> , localizadas em Otacílio Costa/SC	79
Tabela 15 - Critérios para a interpretação dos valores dos índices DRIS com base no método do potencial de resposta à adubação (Wadt, 1996)	82
Tabela 16 - Faixas de suficiência para teores de N, P, K, Ca e Mg em acículas de <i>Pinus taeda</i> , segundo Gonçalves (1995), Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e CQFSRS/SC (2016).....	83
Tabela 17 - Teores médios de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas acículas em florestas de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com um, cinco e nove anos respectivamente, localizadas em Otacílio Costa/SC	83
Tabela 18 – Valores calculados de índices DRIS, com a ordem de limitação dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg nas acículas de <i>Pinus taeda</i> , com idades de cinco, nove e treze anos, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, em Otacílio Costa/SC	85
Tabela 19 - Potencial de Resposta à Adubação (PRA) em relação aos tratamentos de adubação com diferentes combinações de doses de N, P e K em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com diferentes idades em Otacílio Costa/SC	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estimativa do incremento médio anual (IMA) de volume de fuste em florestas de <i>Pinus taeda</i> de cinco (a), nove (b) e treze (c) anos, que receberam diferentes adubações com N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente	33
Figura 2 - Produção de serapilheira ao longo das estações do ano (03/2014 a 03/2015) e variações médias da temperatura (a) e precipitação (b), em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, em Otacílio Costa/SC	51
Figura 3 - Médias anuais (03/2014 a 03/2015) de serapilheira depositada em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, em Otacílio Costa/SC.....	53
Figura 4 - Aporte de nitrogênio ao longo das estações (03/ 2014 a 03/2015) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, representados junto com a temperatura (a) e precipitação (b) médias por estação, em Otacílio Costa/SC	56
Figura 5 - Aporte de fósforo ao longo das estações (03/2014 a 03/) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, temperatura e precipitação médias por estação, em Otacílio Costa/SC.....	58
Figura 6 - Aporte de potássio ao longo das estações (03/2014 a 03/2015) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, temperatura e precipitação médias por estação, em Otacílio Costa/SC	61
Figura 7 - Aporte de cálcio ao longo das estações (03/2014 a 03/2015) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, temperatura e precipitação médias por estação, em Otacílio Costa/SC	63
Figura 8 - Aporte de magnésio ao longo das estações (03/2014 a 03/2015) em povoamentos de <i>Pinus taeda</i> com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, temperatura e precipitação médias por estação, em Otacílio Costa/SC	66

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	20
CAPÍTULO 1 RESPOSTA DE <i>Pinus taeda</i> À ADUBAÇÃO NPK EM DIFERENTES IDADES NO PLANALTO SUL CATARINENSE.....	23
RESUMO	23
1 INTRODUÇÃO	23
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.1 VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS	30
3.2 ANÁLISE ECONÔMICA	36
4 CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39
CAPÍTULO 2 DEPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA EM PovoAMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> APÓS ADUBAÇÃO NPK NO PLANALTO CATARINENSE ...	42
RESUMO	42
1 INTRODUÇÃO	42
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	44
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
3.1 TEORES DE P, K, CA E MG NO SOLO.....	46
3.2 DEPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA.....	49
3.3 APORTE DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA	54
3.4 CORRELAÇÃO ENTRE DADOS METEOROLÓGICOS, MASSA SECA DE SERAPILHEIRA E APORTE DE NUTRIENTES	68
3.5 CORRELAÇÃO ENTRE DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES NO SOLO E SEU APORTE VIA SERAPILHEIRA	69
4 CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS	72

CAPÍTULO 3. AVALIAÇÃO NUTRICIONAL PELO DRIS EM Povoamentos de	
<i>Pinus taeda</i> COM DIFERENTES IDADES NO PLANALTO	
CATARINENSE.....	76
RESUMO	76
1 INTRODUÇÃO	76
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	78
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
3.1 TEORES FOLIARES DE N, P, K, CA E MG	82
3.2 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL PELO SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO (DRIS)	84
4 CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS	89
CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS...	92

INTRODUÇÃO GERAL

A área plantada com o gênero *Pinus* no Brasil está concentrada principalmente na região Sul do país (84,7 %), devido às condições edafoclimáticas e à localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira. Santa Catarina possui a segunda maior área de plantio desta espécie do Brasil, com cerca de 540 mil hectares (34,5 %), representando 83,5 % de toda a madeira empregada na indústria catarinense, atingindo cerca de 20 milhões de m³ consumidos anualmente (ABRAF, 2013).

Embora possua grandes áreas de reflorestamento, o Brasil ainda necessita aumentar e acelerar o plantio de novas áreas a fim de satisfazer suas próprias necessidades, suas metas de exportação de produtos de madeira e também com objetivo de preservação das florestas naturais. Essa forte demanda tem impulsionando a implantação de novas áreas, entretanto este avanço também está ocorrendo em solos degradados e de baixa fertilidade natural, resultando em uma produtividade aquém da capacidade do gênero *Pinus*. Contudo, a produtividade pode ser maior, em relação aos níveis atuais, o que aumentaria a rentabilidade da atividade florestal, bem como tornaria seus produtos mais competitivos nos mercados interno e no externo. Tendo em vista as restrições espaciais e ecológicas para a expansão da área cultivada, tornam-se importantes pesquisas voltadas para o aumento da produtividade. Sendo que as informações são apoiadas em resultados obtidos em condições edafoclimáticas diferentes das existentes nos locais de cultivo. Assim, avanços expressivos nessa área só serão possíveis se ocorrer a interação dos conhecimentos sobre a fisiologia do crescimento das árvores e sua relação com o estado nutricional e disponibilidade de nutrientes no solo.

Diante da necessidade de se assegurar a viabilidade do negócio florestal, através do abastecimento dos parques industriais já estabelecidos, atender a demanda crescente e promover a manutenção da produtividade dos sítios florestais, para uso das gerações futuras, questões relacionadas à dinâmica de nutrientes no sistema solo planta e à resposta à adubação são assuntos que ainda demandam estudos para seu melhor entendimento.

A grande maioria das florestas atuais foi implantada sem adubação de plantio, e mesmo nos casos em que foram adubados, praticamente não há informação sobre o efeito em aumentar a produtividade.

Deste modo, o conhecimento das necessidades nutricionais de povoamentos de *Pinus* é fundamental para que as práticas de manejo e adubação possam ser adequadas, principalmente sobre os períodos de maior exigência nutricional e sobre as quantidades de nutrientes absorvidas pelas árvores nas suas diversas fases de desenvolvimento.

Estudos envolvendo adubação em condições de campo tornam-se essenciais, servindo de subsídio para o entendimento da relação solo-planta, possibilitando maior inferência na formulação das doses a serem aplicadas, bem como o tipo de fertilizante e época de aplicação, minimizando os problemas decorrentes da falta ou excesso de nutrientes nas plantas.

A partir dessa situação, formularam-se as seguintes hipóteses: A adubação combinada de nitrogênio, fósforo e potássio em florestas já estabelecidas de *Pinus taeda* promove incrementos em altura e diâmetro das plantas, contribuindo para aumentar a produtividade da floresta; o aumento da produção da floresta promove maior produção de serapilheira, possibilitando maior aporte de nutrientes ciclados no solo; e, o diagnóstico do estado nutricional de povoamentos de *Pinus taeda* através do estudo da relação entre os nutrientes pelo método DRIS possibilita a identificação de necessidades nutricionais,

Com isso, este estudo teve como objetivos avaliar a resposta do *Pinus taeda* à adubação com nitrogênio, fósforo e potássio em diferentes fases de crescimento através da avaliação do efeito da adubação sobre o volume de fuste, a sua viabilidade econômica; os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) nas acículas das árvores e no solo (P, K, Ca e Mg), a deposição de serapilheira e aporte de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) por meio desta em diferentes estações e idades; e, ainda, determinar os valores de referência para a concentração e relação dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) nas acículas das árvores de diferentes classes produtivas por critérios baseados no sistema DRIS.

CAPÍTULO 1 RESPOSTA DE *Pinus taeda* À ADUBAÇÃO NPK EM DIFERENTES IDADES NO PLANALTO SUL CATARINENSE

RESUMO

Muitas áreas da região do Planalto Sul Catarinense se encontram em segunda ou terceira rotação de *Pinus* e sem nenhuma fertilização. Com isso, a produtividade pode estar sendo limitada pela baixa fertilidade do solo. Entre as alternativas para a mitigação deste problema destaca-se a adubação nos povoamentos já estabelecidos. Com o objetivo de avaliar o efeito da adubação com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em diferentes fases de crescimento de *Pinus taeda* sobre o incremento em madeira, bem como sua viabilidade econômica, foi realizado um experimento a campo em povoamentos submetidos à fertilização aos um, cinco e nove anos de idade, todos de segunda rotação, sobre Cambissolos no município de Otacílio Costa/SC. Os tratamentos consistiram de combinações de doses de nitrogênio ($N_0=0$, $N_1=70$ e $N_2=140$ kg ha^{-1}), de fósforo ($P_0=0$, $P_1=75$ e $P_2=150$ kg ha^{-1}) e de potássio ($K_0=0$, $K_1=60$ e $K_2=120$ kg ha^{-1}), além de uma testemunha, nas seguintes combinações: $N_0P_0K_0$, $N_0P_1K_0$, $N_1P_1K_1$, $N_1P_2K_1$, $N_1P_2K_2$ e $N_2P_2K_1$. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições. Após 4 anos da aplicação dos tratamentos foram determinados a altura e diâmetro das árvores e calculados o Incremento Corrente Anual (ICA), Incremento Médio Anual (IMA), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). O *Pinus taeda* apresentou incremento no volume de madeira em respostas à adubação NPK nos povoamentos adubados aos cinco e nove anos, e maiores VPL e TIR nos povoamentos adubados com nove anos.

Palavras-chave: Épocas de fertilização. Análise econômica. Incremento.

1 INTRODUÇÃO

A área plantada com *Pinus taeda* no Brasil está concentrada principalmente na região Sul do país (84,7 %), devido às condições edafoclimáticas favoráveis e à localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira. Santa Catarina possui a segunda maior área de plantio desta espécie do Brasil, com cerca de 540 mil hectares (34,5 %), representando 83,5 % de toda a madeira empregada na indústria catarinense (ABRAF, 2013). Entretanto, a produtividade poderia ser maior em relação aos níveis atuais, não só para melhorar a

rentabilidade da atividade florestal, bem como para tornar seus produtos mais competitivos no mercado interno e no externo.

Na época em que se iniciou a implantação dos florestamentos de *Pinus*, havia a falta de conhecimento sobre a espécie e a falsa ideia de que a fertilização não era necessária criaram um obstáculo à adubação. A maioria dos solos utilizados para o plantio são quimicamente pobres devido à prática cultural de não utilizar a adubação, e a fertilidade destes solos está se esgotando a cada ciclo (ADAM, 2015). Esta condição, associada à exportação de nutrientes nos desbastes e colheita final e, às perdas por processos erosivos e de lixiviação, levam a uma aceleração no empobrecimento da fertilidade do solo e consequentemente a perda de produtividade dos povoamentos.

Abrão et al. (2015) constataram que a substituição de campo nativo por florestamento de *Pinus taeda* em Cambissolo Húmico em Cambará do Sul/RS, causou alterações nos atributos químicos do solo, especialmente na camada superficial, demonstrando a importância da biomassa acima do solo na ciclagem dos nutrientes, não se descartando a possibilidade de correção e fertilização do solo para garantir a manutenção da produtividade dos sítios ao longo das rotações.

Enquanto no Brasil há uma grande reticência à utilização da fertilização em povoamentos de *Pinus taeda*, nos EUA a aplicação de fertilizantes tornou-se prática comum para aumentar a área foliar e produção de madeira (ALBAUGH; ALLEN; FOX, 2007).

Nas condições edafoclimáticas do território brasileiro, as florestas de *Pinus* apresentam rápido crescimento e produtividade média de $30\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$, considerado excelente em comparação com a média nos EUA, onde a cultura é nativa e apresenta índice de apenas $15\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$, evidenciando a adaptação da espécie no território brasileiro (ADAM, 2015). Tal fato, deixou na zona de conforto os técnicos e investidores, bem como a pesquisa por melhoria.

Provavelmente, em curto prazo, a troca de material propagativo por genótipos mais eficientes na extração e aproveitamento de nutrientes, o aperfeiçoamento na implantação, o controle de matocompetição na condução dos povoamentos, tenham encoberto as perdas de produtividade pela redução nos teores de alguns nutrientes. Porém, a médio e longo prazo, a manutenção da produção de madeira dependerá da reposição ao sítio, dos nutrientes contidos na madeira e exportados pela colheita principalmente.

Ferreira et al. (2004) concluíram que a maioria dos trabalhos publicados no Brasil mostram que as espécies de *Pinus*, de uma forma geral, respondem menos à adubação que as de *Eucalyptus*, mas que incrementos em volume podem chegar a 20 % ou mais em solos pobres,

e que melhores resultados foram obtidos com a aplicação de P, K, e de Ca + Mg na forma de calcário.

Entre os macronutrientes, o P geralmente é aplicado em maior quantidade por estar menos disponível nos solos brasileiros, especialmente devido a sua alta adsorção aos coloides minerais de solos altamente intemperizados (NOVAIS; SMYTH, 1999). Além do P, o K também merece atenção especial devido aos altos conteúdos exportados pela colheita, e podem comprometer futuras rotações (SCHUMACHER, 2000).

Para definir as épocas de aplicação dos fertilizantes, é imprescindível considerar as fases de crescimento da floresta. Durante a fase de estabelecimento, que ocorre até o primeiro ano após o plantio, o sistema radicular ainda não está totalmente desenvolvido, sofrendo com a competição das plantas espontâneas, os ataques de pragas, as variações climáticas e o tipo de preparo do solo (FLINN, 1985). Com isso, a adubação reduziria a competição por nutrientes do solo entre o *Pinus* e as plantas de sub-bosque e aumentaria o desenvolvimento da folhagem, contribuindo para maior interceptação da luz solar (JOKELA, 2004) e sofrendo menos com as adversidades do ambiente.

Por volta dos seis anos ocorre o maior crescimento de madeira juvenil, sendo a disponibilidade de nutrientes o maior fator limitante desse crescimento (CLARK III; SAUCIER, 1991). Neste período se inicia o fechamento do dossel, exigindo grande quantidade de nutrientes. Jokela, Allen e McFee (1991) relataram que nesse período as condições ambientais não são tão propícias à alta disponibilidade de nutrientes, pois o fornecimento de nutrientes pela serapilheira não é suficiente, o que pode resultar em um desenvolvimento de área foliar restrito.

Aproximadamente aos nove anos passa a ocorrer competição por luz, espaço e nutrientes; há redução gradativa na expansão da copa, passando a formar madeira adulta; inicia a transição entre lenho juvenil e adulto (CLARK III; SAUCIER, 1991); há a transformação do alburno em cerne (FOELKEL, 1976), demandando grande quantidade de nutrientes e ocorrendo simultaneamente o acúmulo máximo de nutrientes (JOKELA; ALLEN; McFEE, 1991). Nesse período, geralmente os processos de deposição abrandam e a disponibilidade de nutrientes para o solo via devolução pela serapilheira diminui, pois esses são imobilizados no tronco, na casca, nos ramos, nas raízes e na folhagem (JOKELA, 2004); se a nutrição não for adequada, acículas podem ser perdidas prematuramente.

Diversos trabalhos com adubação em povoamentos já estabelecidos desenvolvidos nos EUA têm demonstrando efeitos positivos sobre o crescimento (KYLE et al., 2005; WILL et al., 2006; ALBAUGH; ALLEN; FOX, 2008). Entretanto, no Brasil, esses estudos são escassos e

relativamente desatualizados, tendo em vista o desenvolvimento do melhoramento genético desde então, em relação a incremento volumétrico de madeira, forma de fuste, produção de sementes e resistência ou tolerância aos efeitos abióticos (AGUIAR et al., 2011). Essas estratégias de melhoramento promoveram o aumento da produtividade desta espécie, mas sem considerar as possíveis perdas causadas por deficiências nutricionais.

O principal objetivo de um empreendimento florestal é a obtenção de lucro, e a busca pelo máximo retorno econômico. Assim, a aplicação dos critérios de análise econômica na área florestal é fundamental para se decidir qual o melhor manejo a ser adotado, afim de maximizar os resultados. Poucos trabalhos relatam ou apresentam avaliação econômica da adubação, sendo assim difícil estabelecer uma recomendação; para isso há necessidade de pesquisas afim de aumentar a produtividade e diminuir custos.

A análise da viabilidade econômica é feita com base em indicadores, como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), que levam em consideração a variação do capital no tempo, pois o ciclo de um plantio de *Pinus* é bastante longo e cada critério aponta diferentes aspectos relacionados aos projetos. O Valor Presente Líquido (VPL) é a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos. Ou seja, é o somatório das receitas descontado a uma taxa de juros e atualizadas em seu respectivo ano de ocorrência menos o somatório dos custos atualizados por uma mesma taxa de desconto e ano em que ocorre. Segundo Lima Júnior (1995), um projeto será economicamente viável se o seu VPL for positivo a uma determinada taxa de desconto, ou seja, o valor descontado das receitas futuras é superior ao valor do investimento. Quanto maior o VPL, mais economicamente atrativo será o projeto, em contrapartida, será economicamente inviável se o seu VPL for negativo. O VPL é um dos melhores métodos, pois apresenta menos falhas e, na maioria das vezes, conduz ao resultado correto.

A Taxa Interna de Retorno (TIR), é a taxa de desconto que torna o valor presente dos benefícios exatamente igual ao valor presente dos custos. É a taxa de desconto na qual o VPL do fluxo de caixa é nulo, ou seja, iguala o VPL a zero (MISHAN, 1976). Ela representa o valor do retorno intrínseco do projeto e, portanto é independente das taxas de juros do mercado. Um projeto é economicamente viável se a sua TIR for superior a uma taxa de juros correspondente à taxa de remuneração alternativa do capital (OLIVEIRA; MACEDO, 1996). De acordo com Lima Júnior (1995) quanto maior taxa interna de retorno, melhor é o projeto. A utilização da TIR é vantajosa, pois com a adoção dessa técnica, não é preciso estimar a taxa de juros e é um bom critério para comparar alternativas de investimentos.

Diante da necessidade de se assegurar a viabilidade do negócio florestal, através do abastecimento dos parques industriais já estabelecidos, atender a demanda crescente e promover o aumento da produtividade dos sítios florestais, para uso das gerações futuras, questões relacionadas à dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta e à resposta à adubação são assuntos que demandam estudos para seu melhor entendimento.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adubação com N, P e K no crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* de diferentes idades através do Incremento Corrente Anual em Volume de fuste e do Incremento Médio Anual; bem como verificar a viabilidade econômica dos tratamentos com base nos indicadores econômicos Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) com taxa de desconto de 6 % ao ano.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas em experimento instalado em povoamentos de *Pinus taeda* L., com adubação NPK realizada aos um, cinco e nove anos de idade, em plantios que foram realizados em 2009, 2005 e 2001, respectivamente, em áreas da empresa Klabin S/A, localizadas no município de Otacílio Costa/SC. O povoamento de um ano encontra-se na Fazenda Bom Retiro, e os de cinco e nove anos na Fazenda Cervo, com as respectivas coordenadas geográficas: 50°7'19,465"W e 27°22'23,29"S; 50°4'46,534"W e 27°27'23,567"S; e 50°5'36,949"W e 27°27'12,515"S. O clima da região é mesotérmico úmido com verão ameno, Cfb, segundo a classificação de Köppen. A altitude é de 884 m, a temperatura média anual é de 15,9 °C e a precipitação média anual entre 1.300 e 1.400 mm, bem distribuída ao longo do ano (OTACÍLIO COSTA, 2016).

No povoamento de um ano, o solo é um Cambissolo Háplico, e nos povoamentos de cinco e nove anos, o solo é Cambissolo Húmico, cujas principais características são apresentadas na Tabela 1. As áreas experimentais encontram-se no segundo ciclo de plantio, cujo ciclo anterior também era de *Pinus taeda* L., e nunca tinham recebido nenhum tipo de adubação antes da aplicação dos tratamentos. Todos os plantios foram efetuados após o preparo do solo com subsolagem, utilizando trator de esteira, a uma profundidade em torno de 45 cm, e em espaçamento de 2,5 m entre plantas e 2,5 m entre linhas.

Tabela 1 - Atributos dos solos nas áreas experimentais das florestas de *Pinus taeda*, localizadas em Otacílio Costa/SC⁽¹⁾

Camada	pHágua	Argila	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC _{pH7}	m ⁽²⁾
cm		— % —		— mg dm ⁻³ —			cmol _c dm ⁻³				%
Cambissolo Háplico (1 Ano)											
0 – 20	4,1	26,3	5,8	5,1	72,2	0,2	0,2	10,0	38,4	39,0	94,4
20 – 40	4,2	25,3	3,7	2,1	37,7	0,1	0,1	8,9	33,9	34,2	96,3
Cambissolo Húmico (5 Anos)											
0 – 20	4,0	24,2	6,2	5,0	65,1	0,3	0,3	10,9	41,8	42,5	93,4
20 – 40	4,2	37,2	4,3	2,5	47,7	0,2	0,2	10,7	37,8	38,4	94,6
Cambissolo Húmico (9 Anos)											
0 – 20	4,1	19,2	5,6	4,3	29,6	0,2	0,1	6,9	33,9	34,2	94,9
20 – 40	4,2	29,2	4,1	1,9	16,8	0,2	0,1	6,0	31,0	31,3	95,0

⁽¹⁾ Análises de solo realizadas segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). ⁽²⁾ Saturação por alumínio na CTC_{efetiva}.

Em cada um dos povoamentos foram aplicados tratamentos que consistiram da combinação de doses de nitrogênio: N0=0, N1=70 e N2=140 kg ha⁻¹ de N; de fósforo: P0=0, P1=75 e P2=150 kg ha⁻¹ de P₂O₅; de potássio: K0=0, K1=60 e K2=120 kg ha⁻¹ de K₂O, ficando identificados da seguinte forma: N0P0K0, N0P1K0, N1P1K1, N1P2K1, N1P2K2, N2P2K1. Como fontes dos nutrientes foram empregados a ureia (45 % de N), o superfosfato triplo (SFT) (41 % de P₂O₅) e o cloreto de potássio (KCl) (58 % de K₂O).

Foram aplicadas as seguintes quantidades de adubo em cada tratamento: 0 N0P0K0=sem aplicação de adubos; N0P1K0=9 kg parcela⁻¹ de SFT; N1P1K1=7,8 kg parcela⁻¹ de ureia, 9 kg parcela⁻¹ de SFT, e 5,2 kg parcela⁻¹ de KCl; N1P2K1=7,8 kg parcela⁻¹ de ureia, 18 kg parcela⁻¹ de SFT, e 5,2 kg parcela⁻¹ de KCl; N1P2K2=7,8 kg parcela⁻¹ de ureia, 18 kg parcela⁻¹ de SFT, e 10,3 kg parcela⁻¹ de KCl; N2P2K1=15,4 kg parcela⁻¹ de ureia, 18 kg parcela⁻¹ de SFT, e 5,2 kg parcela⁻¹ de KCl.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições, sendo as unidades experimentais constituídas por parcelas contendo 80 plantas (8 linhas x 10 plantas), das quais somente as 48 plantas centrais (6 linhas x 8 plantas) foram utilizadas para as mensurações dendrométricas.

As mensurações dendrométricas foram realizadas na ocasião da aplicação dos tratamentos (2010), e 4 anos após a aplicação (2014), ou seja, quando os povoamentos estavam

com um, cinco e nove anos, e depois quando se encontravam com cinco, nove e treze anos de idade respectivamente. O CAC (circunferência à altura do colo) no povoamento com um ano, e o CAP (circunferência à altura do peito) nos demais povoamentos, foram determinados com fita métrica, e a altura (H) com aparelho Hipsômetro Vertex. A partir dessas mensurações, os dados foram convertidos para diâmetro à altura do colo (DAC), e diâmetro à altura do peito (DAP). O volume médio individual (v) e por hectare (V) de cada tratamento foram calculados utilizando a seguinte equação:

$$v = g \cdot h \cdot f$$

Em que: v = volume médio individual em m^3 ; g = área basal em m^2 ; h = altura total em m; e f = fator de forma.

O volume de madeira por hectare (V) é calculado usando os seguintes stands observados nos três florestamentos: 1533; 1367 e 1564 árvores ha^{-1} , para os respectivos povoamentos adubados aos um, cinco e nove anos.

Foi calculado o Incremento Corrente Anual em Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) (ICA), e o Incremento Médio Anual ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) (IMA), conforme equações:

$$\text{Incremento Corrente Anual} = (Volume\ final - Volume\ inicial)/4$$

$$\text{Incremento Médio Anual} = Volume\ final / Idade\ do\ povoamento$$

O Incremento Corrente Anual em volume expressa o crescimento ocorrido em um determinado período. O valor do Incremento Médio Anual expressa a média do crescimento total a certa idade da árvore, portanto, expressa a média anual do crescimento para qualquer idade (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005).

Para a determinação de custos e receitas foram considerados os seguintes custos: preparo de solo, mudas, plantio, replantio, combate à formiga, inventário florestal, limpeza de aceiros, manutenção de estradas, adubação, colheita e impostos. Todos os custos e receita foram obtidos por hectare (ha). A receita foi obtida com base no valor da madeira na região, e na produção de madeira de cada povoamento, considerando o corte raso na idade de avaliação. Os preços foram definidos por meio de consulta a especialistas da área florestal. Nos cálculos não foram considerados o custo de oportunidade da terra e nem de frete, com o objetivo de avaliar

qual o valor máximo a ser pago como remuneração pelo fator de produção terra sem comprometer a viabilidade econômica do projeto.

A análise de viabilidade econômica foi projetada considerando-se os custos e receita do empreendimento florestal avaliado, sendo baseada nos seguintes critérios: Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) com uma taxa de desconto real de 6 % ao ano.

Os dados foram organizados em uma planilha MS Excel 2013 e realizou-se a análise de viabilidade econômica. Para se obter o VPL, aplicou-se a seguinte fórmula considerando as receitas e custos em todos os períodos:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

Onde: i = taxa de juros (6 %); C_j = custo no final do ano j ; R_j = receita no final do ano j ; e , n = duração do projeto em anos.

E para a obtenção da TIR, utilizou-se a seguinte equação:

$$\sum_{j=0}^n R_j (1+TIR)^{-j} = \sum_{j=0}^n C_j (1+TIR)^{-j}$$

Onde: C_j = custo no final do ano j ; R_j = receita no final do ano j ; e , n = duração do projeto em anos.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Havendo significância, para avaliação de efeitos individuais entre tratamentos, o teste de Scott-Knott a 5 % de significância, com o programa estatístico ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

A adubação N, P e K nas diferentes combinações e doses promoveu Incremento Corrente Anual de volume de fuste (ICA) nos povoamentos que foram fertilizados aos cinco e nove anos. Deste modo, os dados das referidas variáveis dendrométricas foram submetidas ao teste de Scott-Knott a 5 % de significância, cujos resultados encontram-se na Tabela 2.

O incremento corrente anual em volume, para o povoamento fertilizado aos cinco anos, os tratamentos N1P1K1, N1P2K1, N1P2K2 e N2P2K1 não diferenciaram estatisticamente entre si, porém foram superiores aos demais tratamentos (Tabela 2), representando um ganho de 10 % em relação à testemunha. Já o tratamento N0P1K0 proporcionou um ganho de 6 % em relação à testemunha. Assim, as respostas obtidas com a floresta fertilizada aos cinco anos de idade indicam que além do P, o N e K também estão atuando como fatores limitantes no desenvolvimento do *Pinus*.

No povoamento fertilizado aos nove anos, o tratamento mais eficiente no desenvolvimento das árvores foi o N1P2K2 promovendo um aumento 34 % no ICA. De forma semelhante ao povoamento fertilizado aos cinco anos, o tratamento N0P1K0 teve um efeito significativo considerável, promovendo aumento de 23 % no ICA, mostrando que a adição de fósforo nos povoamentos já estabelecidos promove efeito positivo considerável na produtividade do *Pinus taeda*. Esse resultado pode ser atribuído à baixa disponibilidade de P existente nos solos cujos, teores de P extraível situaram-se na faixa de valores considerados muito baixos, segundo CQFS-RS/SC (2016).

Os valores de ICA obtidos nesse estudo foram superiores aos fornecidos pela Klabin para Otacílio Costa, SC (BERNETT, 2013)⁽¹⁾, enquanto neste trabalho as médias dos ICA's para povoamentos de cinco, nove e treze anos foram de 31,4, 78,0 e 78,1 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, as médias dos povoamentos da empresa Klabin S.A são 21,0, 60,0 e 48,0 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Em São Tomé na província de Corrientes/Argentina, com variados tipos de solo, Dacosta (2008) encontrou valores de ICA para diferentes índices de sítio, variando de 19,3 a 62,5 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para povoamentos com cinco anos, de 17,1 a 51,5 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para povoamentos com nove anos, e de 8,7 a 25,5 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para povoamentos com treze anos. Os valores observados nesse estudo para cinco anos encontram-se dentro da mesma faixa, enquanto de nove e treze anos estão acima.

Efeitos positivos da aplicação de P (45 e 90 g planta⁻¹de P₂O₅) no DAC, altura total e fator de produtividade de *Pinus taeda*, aos seis meses de idade, cultivado em solo Vermelho do norte de Corrientes na Argentina, em latitude semelhante à do Planalto Sul Catarinense, também foram observados por Fernández et al. (1999). Entretanto, os autores constataram que não houve

⁽¹⁾ Bennett, 22/04/2013, Klabin S.A., Santa Catarina, Brasil - comunicação pessoal.

resposta à aplicação de K (36 e 72 g planta⁻¹ de K₂O) e que ocorria inibição de crescimento à medida que aumentavam a dose de N (22,5 e 45 g planta⁻¹ de N). Neste estudo, o povoamento fertilizado aos nove anos, houve resposta à aplicação de K, à medida que o tratamento N1P2K1 apresentou menos ICA que o N1P2K2, mas assim como foi constatado por Fernández et al. (1999), o aumento da dose de N de 70 para 140 kg ha⁻¹, diminuiu o ICA.

Tabela 2 - Incremento Corrente Anual do volume de fuste (ICA), em florestas de *Pinus taeda* com idades de cinco, nove anos e treze anos, que receberam diferentes adubações com N, P e K aos um, cinco e nove anos, respectivamente

Tratamento ⁽²⁾	ICA		
	5 Anos	9 Anos	13 Anos
	(1 Ano) ⁽¹⁾	(5 Anos) ⁽¹⁾	(9 Anos) ⁽¹⁾
$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$			
N0P0K0	37,5 ns	71,8 c	64,4 d
N0P1K0	39,5	76,0 b	79,0 c
N1P1K1	41,2	79,3 a	77,3 c
N1P2K1	41,3	80,0 a	80,2 b
N1P2K2	38,8	81,3 a	86,0 a
N2P2K1	38,3	79,4 a	81,7 b
CV (%)	8,7	2,8	1,4

⁽¹⁾ Período de adubação. ⁽²⁾ N0P0K0 = 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O; N0P1K0 = 0, 75 e 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P1K1 = 70, 75 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K1 = 70, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K2 = 70, 150 e 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N2P2K1 = 140, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância. ns Os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

Corroborando, Vogel et al. (2005) constataram resposta em volume cilíndrico com a adubação no plantio com P e K (64 e 87 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente), mas não com a aplicação de N, em plantio de *Pinus taeda* cultivado em um Cambissolo Húmico alumínico típico em Cambará do Sul, RS, aos 19 meses de idade.

Pelos resultados, pode-se inferir que o melhor efeito da adubação ocorreu sobre o povoamento adubado aos nove anos, onde o tratamento N1P2K2 proporcionou aumento de aproximadamente 34 % no volume de fuste das plantas, em relação à testemunha. Já o povoamento adubado aos cinco anos apresentou efeito menor, obtendo incremento de cerca de 10 %, nos tratamentos N1P1K1, N1P2K1, N1P2K2 e N2P2K1.

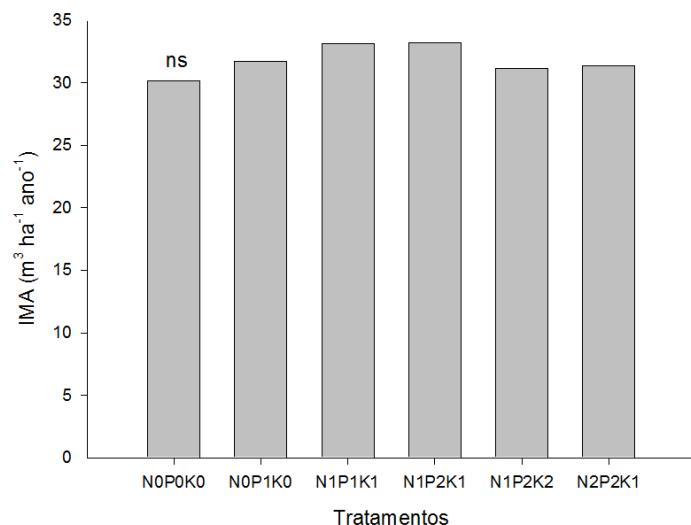
A estimativa do IMA do volume de madeira de *Pinus taeda*, também revelou que os tratamentos promoveram aumentos significativos nos povoamentos fertilizados com cinco e nove anos (Figura 1). No povoamento adubado com cinco anos, os tratamentos N1P1K1, N1P2K1, N1P2K2 e N2P2K1 aumentaram significativamente o IMA em relação à testemunha e não se diferenciaram entre si (Figura 1b). O aumento nesses tratamentos foi em média de 8 % em relação à testemunha. Já no povoamento adubado com nove anos, todos os tratamentos que receberam adubação (independente do nutriente e dose) aumentaram significativamente o IMA em relação à testemunha, mas não se diferenciaram entre si (Figura 1c). O aumento nos tratamentos que receberam adubação foi de aproximadamente 14 % em relação à testemunha.

Seguindo a mesma tendência do ICA, os dados de IMA observados em todas as idades avaliadas também foram superiores aos fornecidos pela Klabin para Otacílio Costa, SC (BERNETT, 2013)⁽¹⁾, enquanto neste trabalho as médias dos IMA's para 5, 9 e 13 anos são de 31,8, 44,9 e 51,7 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$, nos povoamentos da Klabin S.A foram 20,8, 33,4 e 40,1 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$, respectivamente, o que evidencia a resposta positiva da cultura à adubação, já que essa prática em geral não é aplicada pela empresa.

Figura 1 - Estimativa do incremento médio anual (IMA) de volume de fuste em florestas de *Pinus taeda* de cinco (a), nove (b) e treze (c) anos, que receberam diferentes adubações com N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente

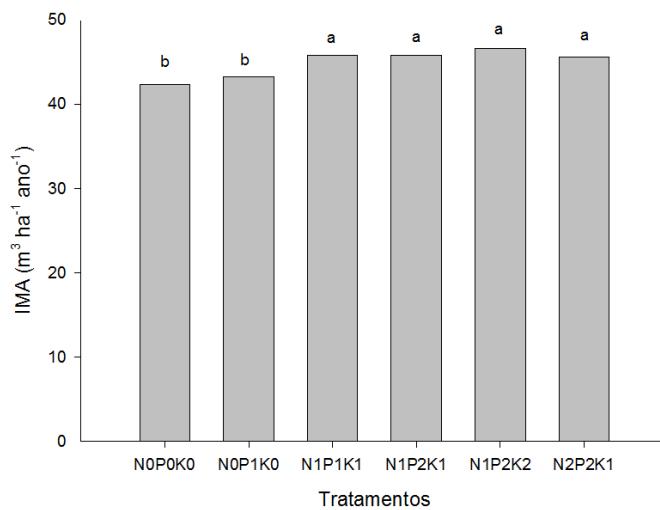
a)

Incremento Médio Anual - 5 Anos (1 Ano)



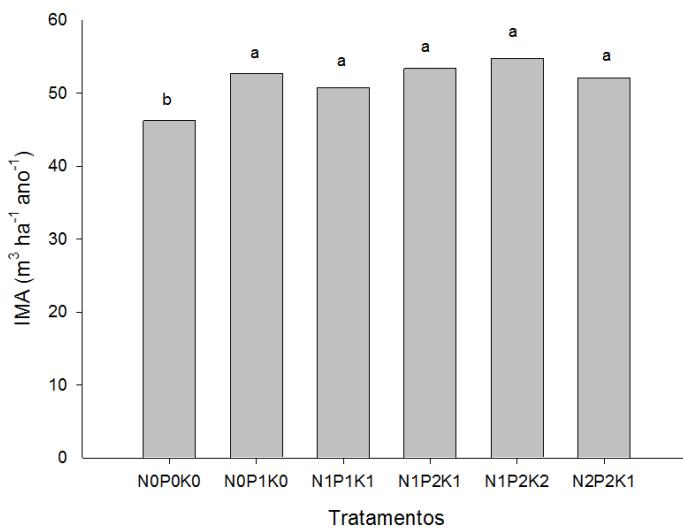
b)

Incremento Médio Anual - 9 Anos (5 Anos)



c)

Incremento Médio Anual - 13 Anos (9 Anos)



$N0P0K0 = 0 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, P_2O_5 e K_2O ; $N0P1K0 = 0, 75$ e 0 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente; $N1P1K1 = 70, 75$ e 60 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente; $N1P2K1 = 70, 150$ e 60 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente; $N1P2K2 = 70, 150$ e 120 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente; $N2P2K1 = 140, 150$ e 60 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente, em Otacílio Costa/SC. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância. ns Os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

Dacosta (2008) em São Tomé na província de Corrientes/Argentina, com variados tipos de solo, encontrou valores de ICA para diferentes índices de sítio, variando de 9,2 a $29,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para povoados com 5 anos, de 13,9 a $43,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para povoados com 9 anos, e de 13,3 a $41,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para povoados com 13 anos. Os valores observados para 5 anos encontram-se dentro da faixa, enquanto de 9 e 13 anos estão acima.

Segundo a ACR (2016) na média, o IMA no Brasil varia entre 25 e 35 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para o *Pinus*, sendo que as empresas de maior porte e com alto nível tecnológico atingem médias superiores, dependendo da localização dos seus plantios e investimento empreendido. Com os resultados obtidos neste trabalho, os povoamentos estão inclusos nessas médias superiores, algo positivo, pois a adubação em povoamentos estabelecidos não é comumente utilizada no Brasil. Isso nos mostra que a adoção da prática coloca os povoamentos nos patamares mais altos de produção do país.

Em estudo com *Pinus taeda*, cultivado num Nitossolo Bruno distrófico típico em Capão Alto, SC, Simonete et al. (2011) verificaram que aplicação de adubação no momento da implantação do povoamento com doses partir de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando-se a formulação 6:30:6 (N:P₂O₅:K₂O), promoveu incremento significativo de 13 % no volume de madeira do *Pinus*, aos cinco anos após essa fertilização, em relação à aplicação isolada da mesma dose de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo e à testemunha. Esse trabalho foi utilizado como base para definição das doses a serem aplicadas neste estudo, observando-se que independentemente da idade de aplicação, há uma resposta evidente ao P, o que pode ser atribuído à característica comum dos solos da região do Planalto Catarinense, que na sua maioria apresentam baixo teor de P disponível. Contudo, o suprimento de N e K também são importantes para ganhos superiores em produtividade.

Resultados publicados sobre esse mesmo experimento, por Moro et. al. (2014), onde os povoamentos foram avaliados aos 18 meses após a aplicação dos tratamentos, mostraram-se semelhantes para o povoamento adubado aos nove anos, com o tratamento N1P2K2, o qual promoveu o maior ICA. Já o comportamento dos povoamentos adubados com um e cinco anos se alterou bastante. O povoamento adubado com um ano apresentava diferença entre os tratamentos, algo não observado na atual avaliação, e o povoamento adubado aos cinco anos mostrava diferenças entre os tratamentos que receberam algum tipo de adubação, no qual somente houve resposta de todos os tratamento que receberam alguma fertilização em relação à testemunha, e dos tratamentos que receberam fertilização NPK em relação à dose isolada de P. Diante do exposto, é possível observar a importância da continuidade das avaliações até a idade de corte dos povoamentos, afim de tomar conhecimento da dinâmica desses povoamentos até o final de seus ciclos.

3.2 ANÁLISE ECONÔMICA

Os resultados da análise econômica indicam que o povoamento que recebeu fertilizante com um ano e foi avaliado com cinco anos de idade apresentou valores negativos de VPL e TIR, indicando que esses tratamentos não são economicamente viáveis. Isto já era esperado uma vez que esta não é a idade apropriada para o corte raso. Além disso, a testemunha apresentou os maiores valores tanto de VPL quanto de TIR, demonstrando que os gastos com adubação nos tratamentos com fertilização não foram revertidos em ganhos financeiros no volume de madeira, e isso é corroborado pelos dados de ICA e IMA (Tabela 2 e Figura 1).

No povoamento adubado aos cinco anos, avaliado aos nove anos, o VPL e a TIR já apresentam valores positivos, indicando uma possível viabilidade econômica da adubação, embora, a testemunha apresenta o maior VPL e TIR, cruzando com os dados de ICA e IMA. Isso mostra que apesar de ter havido aumento do volume dos troncos em todos os tratamentos que receberam adubação, estes ganhos ainda não são suficientes para se traduzirem em ganhos financeiros.

Desta forma, se faz necessário o acompanhamento desses povoamentos até uma idade ideal de corte, para que se tenha resultados mais acurados sobre os ganhos em volume de madeira e financeiros dos tratamentos.

O povoamento adubado aos nove anos, avaliado aos treze anos apresentou os melhores resultados econômicos, o qual se encontra em idade passível de corte quando a destinação da madeira é para celulose. Todos os tratamentos que receberam adubação apresentaram maior VPL e TIR que a testemunha, indicando assim viabilidade para a adubação, uma vez que se mostraram superiores a taxa de desconto real utilizada para os cálculos (6,0 %). O tratamento N1P2K1 apresentou o maior VPL, sendo cerca de 26,7 % maior que a testemunha e ganhos de R\$ 4.617,65 a mais por hectare, além de também apresentar a maior TIR. Os dados mostram que embora esse tratamento seja estatisticamente inferior ao N1P2K2 e igual ao N2P2K1, quanto ao ICA, ele é o mais economicamente viável.

Em análise econômica da adubação e calagem com *Pinus taeda* com 8 anos de idade, sobre um Cambissolo Háplico distrófico típico em Arapoti/PR, Perucio (2015) concluiu que o uso da adubação e calagem foi negativo, pois apesar de ter havido aumento no volume dos troncos das árvores, os custos foram maiores que as receitas, sendo a TIR menor que a taxa de desconto anual. Este ainda destaca que a dose da adubação utilizada pode ter sido insuficiente para que o resultado fosse tão significativo que tornasse o investimento lucrativo e rentável.

Contudo, com estes resultados pode-se verificar que o *Pinus* pode responder à aplicação de fertilizantes até mesmo quando adulto, havendo tempo para resposta até que seja realizado o corte raso, porém, isso depende de uma calibração mais afinada da nutrição para que a floresta obtenha resposta significativa.

Tabela 3 - Valor Presente Líquido – VPL (R\$) e Taxa Interna de Retorno – TIR (%) em povoamentos de *Pinus taeda* com idades de cinco, nove anos e treze anos, que receberam diferentes adubações com N, P e K aos um, cinco e nove anos de idade, respectivamente, em Otacílio Costa/SC

Tratamentos	VPL	TIR
	R\$	%
5 Anos		
N0P0K0	-3.612,54 a*	-26,62 a ¹
N0P1K0	-5.692,43 b	-40,23 b
N1P1K1	-5.772,20 b	-39,99 b
N1P2K1	-6.864,20 c	-45,86 c
N1P2K2	-7.527,25 d	-52,59 c
N2P2K1	-7.995,13 d	-53,20 c
CV (%)	-5,00	-10,39
9 Anos		
N0P0K0	9.142,66 a	25,76 a
N0P1K0	5.711,34 b	14,95 b
N1P1K1	5.955,88 b	15,18 b
N1P2K1	5.380,72 b	14,26 b
N1P2K2	5.264,26 b	14,04 b
N2P2K1	4.503,42 b	12,97 b
CV (%)	8,95	4,37
13 Anos		
N0P0K0	17.280,08 f	17,67 d
N0P1K0	18.665,49 c	18,10 b
N1P1K1	18.269,33 d	17,93 c
N1P2K1	21.897,73 a	21,73 a
N1P2K2	19.041,37 b	18,14 b
N2P2K1	17.743,57 e	17,55 d
CV (%)	1,07	0,45

*Taxa de 6 % a.a. ¹Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância.

Um VPL de R\$ 31.799,28 ha⁻¹, e uma TIR de 27,23 % foram encontrados por Vitale e Miranda (2010) em povoamentos de *Pinus taeda* Prudentópolis/PR, valores superiores aos desse atual trabalho, porém, naquele caso utilizou-se como base a venda da madeira em pé, sem contemplar, portanto, os custos de colheita que são bastante elevados.

4 CONCLUSÕES

Pinus taeda cultivado em Cambissolo do Planalto Sul de Santa Catarina apresenta incremento no volume de madeira em respostas à adubação N, P e K quando adubados aos cinco e nove anos.

No povoamento adubado aos cinco anos (avaliado aos nove anos) o incremento máximo ocorre com a adição de doses a partir de 70 kg ha⁻¹ de N, 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O. Porém todos os tratamentos que receberam adubação apresentam VPL e TIR menores que a testemunha, indicando que até essa avaliação os custos com adubação não são compensados pelos ganhos em volume de madeira.

O maior incremento de volume de fuste foi obtido no povoamento adubado aos nove anos, avaliado aos treze anos, com a adição de doses de 70 kg ha⁻¹ de N, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O. Entretanto, o tratamento mais viável economicamente, com maior VPL e TIR, compreende as doses de 70 kg ha⁻¹ de N, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O.

REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / ABRAF.** – Brasília: 2013. Disponível em:<www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>. Acesso em: 16 jul. 2015.

ABRÃO, S. F. et al. Alterações químicas de um Cambissolo Húmico causadas por florestamento com *Pinus taeda* em área de campo natural. **Floresta**, v. 45, n. 3, p. 455-464, 2015.

ACR. **Anuário estatístico de base florestal para o estado de Santa Catarina 2016 ano base 2015.** – Lages: 2016. Disponível em:<http://www.acr.org.br/download/biblioteca/ACR_2016.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2017.

ADAM, W. M. **Composição química da serapilheira e raízes finas de *Pinus taeda* sob fertilização e calagem.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Estado do Paraná, Curitiba, 2015.

AGUIAR, A. V. D., et al. **Programa de melhoramento de pinus da Embrapa Florestas.** Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 83 p. (Documentos/Embrapa Floresta).

ALBAUGH, T. J., ALLEN, H. L.; FOX, T. R. Historical patterns of forest fertilization in the southeastern United States from 1969 to 2004. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 31, n. 3, p.129-137, 2007.

ALBAUGH, T. J., ALLEN, H. L.; FOX, T. R. Nutrient use and uptake in *Pinus taeda*. **Tree Physiology**, v. 28, n. 7, p. 1083-1098, 2008.

CLARK III, A.; SAUCIER, J. R. **Influence of planting density, intensive culture, geographic location, and species on juvenile wood formation in Southern Pine.** Research Division Georgia Forest Commission, 1991. 14 p. (Technical Paper 85)

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, UFRGS, 2016. 376 p.

DACOSTA, L. P. E. **Relações Biométricas em Povoamentos Jovens de *Pinus taeda* L. na Província de Corrientes, República Argentina.** 2008. (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores.** Brasília: Comunicações Técnicas Florestais, UnB, 2005. 47 p.

FERNÁNDEZ, R. et al. Efectos de diferentes prácticas de preparación del terreno y fertilización sobre el crecimiento inicial del *Pinus* spp. en el NE argentino. **Bosque**, v. 20, n. 1, p.47-52, 1999.

FERREIRA, C. A. et al. Pesquisas sobre nutrição de Pinus no sul do Brasil. **Revista da Madeira**, n. 63, ano 14, p. 72-78, 2004.

FLINN, D. W. **Practical aspects of the nutrition of exotic conifer plantations and native eucalypt forests in Australia.** Camberra: Research for Forest Management/CSIRO, 1985. 296 p.

FOELKEL, C. E. B. Celulose kraft de *Pinus* spp. **O Papel**, v. 18, p.49-67, 1976.

JOKELA, E. J.; ALLEN, H. L.; McFEE, W. W. Fertilization of southern pines at establishment. In: DURYEA, M.; DOUGHERTY, P. (Org.). **Forest regeneration manual.** London: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 263-277.

JOKELA, E. J. Nutrient management of southern pines. In: DICKENS, E. D. et al. (Org.). **Slash pine: Still growing and growing. Proceeding of the slash pine symposium.** Washington: USDA/Forest Service General, 2004. p. 27-35. (TechnicalReport SRS-76)

KYLE, K. H. et al. Long-term effects of drainage, bedding, and fertilization on growth of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in the coastal plain of Virginia. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 29, n. 4, p. 205-214, 2005.

LIMA JÚNIOR, V. B. **Determinação da taxa de desconto para uso na avaliação de projetos de investimentos florestais.** 1995. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

MISHAN, E. J. **Análises de Custos-Benefícios.** Rio de Janeiro: Zahar Editora, 1976. 488 p.

MORO, L. et al. Resposta de *Pinus taeda* com diferentes idades à adubação NPK no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1181-1189. 2014.

NOVAIS, R.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, A. D.; MACEDO, R. L. G. **Sistemas agroflorestais: considerações técnicas e econômicas.** Lavras: UFLA, 1996. 255 p. (Projeto de consultoria).

OTACÍLIO COSTA. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Otac%C3%ADlio_Costa>. Acesso em 04 out. 2016.

PERUCIO, F. M. **Análise econômica da adubação e calagem do *Pinus taeda* na região de Arapoti – Paraná – Brasil.** 2015. Monografia (Pós Graduação em Gestão Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

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

SIMONETE, M. A. et al. Efeito da adubação de plantio em *Pinus taeda* L. aos cinco anos de idade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, Uberlândia, 2011. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

VITALE, V.; MIRANDA, G. M. Análise Comparativa da Viabilidade Econômica de Plantios de *Pinus Taeda* e *Eucalyptus dunnii* na Região Centro Sul do Paraná, **Floresta**, v. 40, n. 3, p. 469-476. 2010.

VOGEL, H. L. M. et al. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 2, p. 199-206, 2005.

WILL, R. E. et al. Nitrogen and phosphorus dynamics for 13-year-old loblolly pine stands receiving complete competition control and annual N fertilizer. **Forest Ecology and Management**, v. 227, n.1, p. 155-168, 2006.

CAPÍTULO 2. DEPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA EM PovoAMENTOS DE *Pinus taeda* APÓS ADUBAÇÃO NPK NO PLANALTO CATARINENSE

RESUMO

O estudo da ciclagem de nutrientes é um subsídio importante para a tomada de decisão visando o aumento da produção de povoamentos de *Pinus taeda*. Com o objetivo de avaliar o efeito da adubação com os nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em diferentes fases de crescimento de *Pinus taeda* sobre a produção de serapilheira e aporte de nutrientes por meio desta, foi realizado experimento a campo em povoamentos submetidos à fertilização aos um, cinco e nove anos de idade, todos de segunda rotação, sobre Cambissolos no município de Otacílio Costa/SC. Os tratamentos consistiram de combinações de doses de nitrogênio (N0=0, N1=70 e N2=140 kg ha⁻¹), de fósforo (P0=0, P1=75 e P2=150 kg ha⁻¹) e de potássio (K0=0, K1=60 e K2=120 kg ha⁻¹), além de uma testemunha, nas seguintes combinações: N0P0K0, N0P1K0, N1P1K1, N1P2K1, N1P2K2 e N2P2K1. O delineamento experimental foi blocos ao acaso com três repetições. Após 4 anos da aplicação dos tratamentos a serapilheira depositada foi coletada mensalmente em coletores de tela instalados a 50 cm do solo. Foram determinados os teores de P, K, Ca e Mg disponíveis no solo e a massa seca e teores de N, P, K, Ca e Mg na serapilheira. A serapilheira depositada ao longo do ano em estudo não sofreu influência da adubação, e teve produção maior nas estações com temperatura mais elevada. Nos dois povoamentos mais velhos a deposição de serapilheira foi maior. O aporte de nutrientes seguiu a seguinte ordem: N>P>K>Mg>Ca. A deposição de serapilheira é dinâmica, variando estacionalmente sob influência da temperatura, precipitação e idade das árvores.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes. Épocas de fertilização. Liteira.

1 INTRODUÇÃO

A ciclagem biogeoquímica é a principal responsável pela reciclagem dos nutrientes no sistema florestal, ocorrendo um processo dinâmico de entrada e saída, liberação e absorção de nutrientes na interface solo-planta-atmosfera, devido à estocagem dos mesmos no material orgânico depositado na superfície do solo. Pelos processos de decomposição, os nutrientes armazenados nesse material orgânico florestal são liberados, ficando novamente disponíveis às

plantas. Assim, quantificar esse material e os nutrientes nela contidos pode fornecer novos parâmetros ao manejo na adubação florestal dos povoamentos.

A serapilheira, que compreende a camada de material orgânico originado da queda de acículas e ramos das árvores, é a principal responsável pelas transferências de nutrientes para os horizontes orgânicos que se acumulam sobre o solo numa floresta de *Pinus*. Nesse material são acumuladas quantidades significativas de nutrientes que, após a sua decomposição, retornam ao solo e podem ser absorvidos novamente pelas árvores. Assim, é responsável pela retenção de grandes quantidades de nutrientes, constituindo uma importante forma de retorno dos elementos minerais da vegetação para o solo (GODINHO et al., 2014).

A decomposição da serapilheira em geral ocorre mais rapidamente em sítios florestais mais produtivos, logo, a camada de material acumulado em sítios pouco produtivos é expressivamente mais espessa, fato associado à má qualidade nutritiva do resíduo quando a árvore cresce em solo de baixa fertilidade (ADAM, 2015). Assim, o suprimento de nutrientes fica dependente da quantidade e da velocidade de decomposição da serapilheira. Em florestas maduras praticamente todas as necessidades anuais de nutrientes são supridas dessa forma, porém se o suprimento de nutrientes às árvores através do solo for insuficiente, ocorrerá um déficit no ciclo (REISSMANN; WISNIEWSKI, 2005). Esse fato é passível de ocorrer em atividades florestais, devido à exportação de nutrientes pela colheita, às rotações consecutivas, e como em muitos casos, sem aplicação de fertilizantes.

A reutilização de nutrientes através da ciclagem é mais eficiente em árvores que recebem apropriado fornecimento de nutrientes, sob condições de deficiência, pois, uma grande proporção dos nutrientes nas acículas é transferida aos tecidos novos e, com isso, não pode ser reciclado (MILLER, 1981). Para que estes processos ocorram e resultem em níveis ótimos de produtividade, é necessário que quantidades adequadas de nutrientes tenham sido acumuladas previamente nos diversos compartimentos das árvores (FERREIRA et al., 2001), sendo portanto a fertilização uma boa alternativa para a otimização da produção florestal.

O estudo de ciclagem se justifica por si só, devido ao alto custo dos fertilizantes minerais, principalmente quando se trata de fósforo. Assim, o entendimento da dinâmica dos nutrientes nesses povoamentos florestais é necessário para se otimizar o uso de recursos naturais. Segundo Pagano e Durigan (2000) pesquisas a respeito da produção e decomposição da serapilheira com a consequente transferência dos nutrientes para o ambiente, ou seja, do fluxo dos nutrientes no ecossistema, são essenciais para a sua quantificação e caracterização de como ocorre a ciclagem que é a principal forma de retorno de nutrientes e matéria orgânica à superfície do solo.

FERNANDES et al. (2006) observaram que há diversos trabalhos sobre a produção e decomposição da serapilheira em áreas reflorestadas com espécies de interesse econômico, porém, a maior parte dos trabalhos avaliaram povoamentos em seus primeiros anos. Assim, para que se possa conhecer como a ciclagem se comporta após a estabilização dos fluxos de entradas e saídas do sistema, é imprescindível avaliar o comportamento de espécies florestais transcorrido um longo período de tempo após a sua implantação.

Com a finalidade de conhecimento da dinâmica dos nutrientes em florestas são necessários estudos acerca da quantificação de deposição de serapilheira, bem como do padrão de ciclagem. Tais estudos possibilitam uma avaliação mais abrangente das implicações nutricionais da exploração florestal que afetam o potencial produtivo (LACLAU et al., 2010). Deste modo é possível obter informações a respeito de possíveis déficits de nutrientes no solo (SCHUMACHER; VIERA; WITSCHORECK et al., 2008), permitindo prever fatores que podem restringir a produção de sucessivas rotações (VIERA; SCHUMACHER, 2010), por meio da identificação e correção de deficiências de nutrientes que limitam o crescimento e aumento da produtividade das plantações de *Pinus* (FOX et. al., 2004).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a produção de serapilheira ao longo das estações de um ano, bem como o aporte de nutrientes por meio desta, em função da aplicação de fertilizantes no solo de povoamentos de *Pinus taeda* com diferentes idades no Planalto Sul Catarinense.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Em 2010 foi instalado experimento a campo, em três povoamentos de *Pinus taeda* L., com um, cinco e nove anos de idade, implantados em 2009, 2005 e 2001, respectivamente, em áreas pertencentes à empresa Klabin S/A, em Otacílio Costa/SC.

O povoamento de um ano é localizado na Fazenda Bom Retiro com as coordenadas geográficas: 50°7'19,465"W e 27°22'23,29"S; e os povoamentos de cinco e nove anos se localizam na Fazenda Cervo, com as coordenadas geográficas: 50°4'46,534"W e 27°27'23,567"S; e 50°5'36,949"W e 27°27'12,515"S. O clima da região é mesotérmico úmido com verão ameno, Cfb, segundo a classificação de Köppen. A altitude é de aproximadamente 880 m, a temperatura média anual é de 15,9 °C e a precipitação média anual entre 1.300 e 1.400 mm, bem distribuída ao longo do ano (OTACÍLIO COSTA, 2016).

No povoamento adubado com um ano, o solo é um Cambissolo Háplico, e nos povoamentos adubados aos cinco e nove anos, o solo é Cambissolo Húmico, cujas principais

características são apresentadas na Tabela 4. As áreas experimentais encontram-se no segundo ciclo de plantio, cujo ciclo anterior também era de *Pinus taeda* L. e nunca tinham recebido adubação antes da aplicação dos tratamentos. Todos os plantios foram efetuados após o preparo do solo com subsolagem, utilizando trator de esteira, a uma profundidade em torno de 45 cm, e em espaçamento de 2,5 m entre plantas e 2,5 m entre linhas.

Tabela 4 - Atributos dos solos nas áreas experimentais das florestas de *Pinus taeda*, localizadas em Otacílio Costa/SC⁽¹⁾

Camada	pHágua	Argila	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC _{pH7}	m ⁽²⁾
cm		— % —		— mg dm ⁻³ —				cmol _c dm ⁻³			%
Cambissolo Háplico (1 Ano)											
0 – 20	4,1	26,3	5,8	5,1	72,2	0,2	0,2	10,0	38,4	39,0	94,4
20 – 40	4,2	25,3	3,7	2,1	37,7	0,1	0,1	8,9	33,9	34,2	96,3
Cambissolo Húmico (5 Anos)											
0 – 20	4,0	24,2	6,2	5,0	65,1	0,3	0,3	10,9	41,8	42,5	93,4
20 – 40	4,2	37,2	4,3	2,5	47,7	0,2	0,2	10,7	37,8	38,4	94,6
Cambissolo Húmico (9 Anos)											
0 – 20	4,1	19,2	5,6	4,3	29,6	0,2	0,1	6,9	33,9	34,2	94,9
20 – 40	4,2	29,2	4,1	1,9	16,8	0,2	0,1	6,0	31,0	31,3	95,0

⁽¹⁾ Análises de solo realizadas segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). ⁽²⁾ Saturação por alumínio na CTC_{efetiva}.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com três repetições, sendo as unidades experimentais constituídas por parcelas contendo 80 plantas (8 linhas x 10 plantas). A aplicação dos tratamentos nos três povoamentos foi realizada em dezembro de 2010, aplicando-se os fertilizantes manualmente, a lanço e em área total.

Em Dezembro de 2014, ou seja, quando os povoamentos estavam com cinco, nove e treze anos, amostras dos solos foram coletadas nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, com trado holandês, em dez pontos dentro de cada parcela (5 na linha de plantio e 5 na entrelinha). A amostragem de solo foi modificada em relação à avaliação realizada em 2012 (MORO, 2013), já que naquela oportunidade foram coletadas as camadas de 0-20 e 20-40 cm, onde não foram observadas diferenças entre tratamentos, o que se atribuiu à aplicação ter sido a lanço e sem incorporação dos adubos. Com isso, o efeito dos fertilizantes com P e Ca concentra-se nos primeiros cm do solo, e a camada de 0-20 cm é extensa, o que resulta em diluição dos teores,

dificultando a detecção de diferenças significativas. Após serem secas em estufa de circulação de ar forçada a 60 °C, por 48 h, as amostras de solo foram moídas e submetidas à análise química segundo Tedesco et al. (1995), onde foram determinados os teores de P e K extraíveis (Mehlich) e de Ca e Mg.

Para o estudo da serapilheira total foi utilizada a metodologia de Sixel (2012). Em março de 2014 foram instalados seis coletores por parcela, confeccionados com tela tipo sombrite (50 %), com superfície de 0,25 m² (0,50 m x 0,50 m), suspensos a altura de 0,5 m do solo, três na linha de plantio e três na entrelinha a 1 m das plantas. As coletas foram feitas mensalmente, até março de 2015. O material dos coletores foi seco em estufa a temperatura de 60 °C até massa constante. Após secagem foi pesado, moído e realizada a determinação do teor dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg, conforme metodologia de Tedesco et al. (1995). Os dados de produção de massa seca de serapilheira e de macronutrientes contidos nessa, foram agrupados por estações.

Foi realizada a correlação simples de Pearson seguida do Teste t para os teores de P, K, Ca e Mg no solo e seus respectivos aportes pela serapilheira.

Obtiveram-se dados meteorológicos de Temperatura (°C) e Precipitação (mm), provenientes da estação meteorológica de Otacílio Costa/SC, os quais foram fornecidos pela EPAGRI/CIRAM (2015), e foram correlacionados com os dados da serapilheira através correlação simples de Pearson seguida do Teste t.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Havendo significância, para avaliação de efeitos individuais entre tratamentos, foi usado o Teste de Scott-Knott a 5 % de significância, com o programa estatístico ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TEORES DE P, K, CA E MG NO SOLO

Os teores médios de P, K, Ca e Mg nos solos sob os povoamentos de *Pinus*, após quatro anos de adição dos tratamentos (Tabela 5) foram classificados, segundo as classes de interpretação de teores de nutrientes disponíveis no solo, estabelecidos pela Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (2016).

Tabela 5 - Teores médios de fósforo e potássio extraíveis (Mehlich) e cálcio e magnésio trocáveis nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, Em Cambissolo sob florestas de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, após quatro anos da adubação com N, P e K em diferentes combinações de doses, localizadas em Otacílio Costa/SC

Tratamento ⁽²⁾	P				K				Ca				Mg				
	mg dm ⁻³				cmolc dm ⁻³												
	0 – 10	10 – 20	0 – 10	10 – 20	0 – 10	10 – 20	0 – 10	10 – 20	0 – 10	10 – 20	0 – 10	10 – 20	0 – 10	10 – 20	0 – 10	10 – 20	
Pinus de 5 Anos⁽¹⁾																	
N0P0K0	3,2 b	2,7 ns	79,3 c	58,0 b	0,3 b	0,2 ns	0,4 ns	0,2 ns									
N0P1K0	4,5 b	3,7	80,5 c	59,0 b	0,2 b	0,2	0,4	0,4									
N1P1K1	4,5 b	3,6	93,7 c	64,5 b	0,3 b	0,2	0,4	0,4									
N1P2K1	10,0 a	3,3	90,0 c	58,7 b	0,6 a	0,2	0,3	0,3									
N1P2K2	10,2 a	3,0	136,0 a	75,0 a	0,6 a	0,2	0,3	0,3									
N2P2K1	10,7 a	3,8	110,5 b	66,3 b	0,7 a	0,1	0,4	0,2									
CV (%)	18,1	23,7	13,8	7,9	21,9	21,8	28,2	44,6									
Pinus de 9 Anos																	
N0P0K0	6,6 c	5,1 ns	133,5 b	83,3 c	0,6 b	0,3 ns	0,5 ns	0,4 ns									
N0P1K0	8,9 b	5,5	145,0 b	94,0 c	0,5 b	0,4	0,5	0,4									
N1P1K1	8,9 b	5,1	154,0 b	105,0 b	0,5 b	0,2	0,4	0,3									
N1P2K1	10,7 a	7,1	147,3 b	105,0 b	0,9 a	0,3	0,4	0,3									
N1P2K2	10,7 a	5,8	177,0 a	120,5 a	1,1 a	0,2	0,4	0,3									
N2P2K1	10,3 a	4,8	145,0 b	113,0 a	0,8 a	0,3	0,4	0,3									
CV (%)	5,4	18,7	10,7	6,14	21,4	23,9	11,7	18,6									
Pinus de 13 Anos																	
N0P0K0	3,4 b	3,2 ns	61,5 d	41,7 b	0,06 b	0,05 b	0,2 ns	0,2 ns									
N0P1K0	4,5 b	5,1	62,7 d	45,7 b	0,07 b	0,05 b	0,3	0,2									
N1P1K1	4,3 b	2,9	66,8 c	49,7 a	0,08 b	0,04 b	0,2	0,1									
N1P2K1	7,7 a	2,9	66,8 c	52,7 a	0,14 a	0,07 a	0,2	0,2									
N1P2K2	7,9 a	2,1	78,5 a	54,3 a	0,13 a	0,08 a	0,2	0,1									
N2P2K1	7,8 a	3,2	72,5 b	53,7 a	0,14 a	0,07 a	0,2	0,2									
CV (%)	3,4	3,2	3,8	8,1	6,4	15	24,8	32									

⁽¹⁾ Período de adubação. ⁽²⁾ N0P0K0 = 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O; N0P1K0 = 0, 75 e 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P1K1 = 70, 75 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K1 = 70, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K2 = 70, 150 e 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N2P2K1 = 140, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância. ns Os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

As classes de interpretação dos teores de P, na camada de 0-10 cm dos solos, mostraram-se semelhantes nos três povoamentos avaliados. No povoamento de cinco anos, o teor de P foi maior nos tratamentos que receberam 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo classificados como um teor

alto, enquanto os demais tratamentos apresentaram teor baixo. No povoamento de nove anos, o teor de P também foi maior nos tratamentos que receberam 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e os tratamentos que receberam 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentaram valores maiores em relação à testemunha, porém sem diferirem na classificação, sendo os três classificados como teor médio. Assim como nos demais povoamentos, no de treze anos, os teores de P foram maiores nos tratamentos que receberam 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com teores classificados como altos, enquanto os demais tratamentos não diferiram entre si, sendo considerados médios nos tratamentos que receberam 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e baixo na testemunha.

Na camada de 10-20 cm não houve diferença estatística nos teores de P entre os tratamentos, em nenhum dos povoamentos, evidenciando que o P não alcançou esta profundidade, algo esperado devido à baixa mobilidade do P no solo (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008). De maneira geral, os teores de P desta camada são classificados como baixos.

Para os teores de K, o solo sob os três povoamentos, tanto na camada de 0-10 cm quanto de 10-20 cm, foi observado maior teor no tratamento N1P2K2, que recebeu 120 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo que na camada de 0-10 cm o teor dos povoamentos de cinco e nove anos foram classificados como altos e no de treze anos médio. Diferenças estatísticas entre os tratamentos foram observadas na camada de 10-20 cm, pois diferentemente do P, o K é um elemento móvel no solo (NEVES; ERNANI; SIMONETE, 2009). Com isso, observou-se que no povoamento com cinco anos o tratamento N1P2K2 teve teor classificado como médio, e os demais como baixos. No povoamento com nove anos os tratamentos N1P2K2 e N2P2K1 foram classificados como altos, e os demais como médios. No povoamento com treze anos todos os tratamentos foram considerados como baixos, mesmo os que receberam alguma dose de K₂O e sendo os teores estatisticamente maiores que a testemunha.

O efeito da fertilização potássica no solo, até a profundidade de 20 cm, também foi observado por Batista (2011), onde a aplicação de 80 kg ha⁻¹ de K₂O em superfície aumentou significativamente o teor de K de um solo derivado do Arenito Itararé, sob povoamento de *Pinus taeda* com cinco anos de idade, em Jaguariaíva/PR.

Para o Ca, em todos os povoamentos avaliados foram observados maiores teores na camada de 0-10 cm, nos tratamentos N1P2K1, N1P2K2 e N2P2K1, diminuindo na camada inferior. Isto ocorreu provavelmente devido ao fato de que esses tratamentos receberam maior quantidade de SFT, o qual apresentava em sua composição cerca de 12 % de Ca. Entretanto, embora os teores de Ca nos solos tenham sido acrescidos significativamente nestes

tratamentos, não foi suficiente para mudar de classe de interpretação, permanecendo como baixos.

Os teores de Mg não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, nas duas camadas de solo avaliadas para os três povoamentos, permanecendo na classe de interpretação baixo. Isto era esperado, uma vez que não foram adicionadas fontes que contivessem Mg.

Tendo em vista os resultados observados neste estudo, é possível assegurar que as alterações ocorridas nos teores de P, K e Ca observadas na camada 0-10 cm em função dos tratamentos foram relevantes, pois, a profundidade de ocupação das raízes mais finas responsáveis pela maior parte da absorção de nutrientes, encontra-se principalmente na camada superficial do solo, incluindo a serapilheira e/ou horizonte orgânico (LOPES, 2009). Assim, a aplicação superficial de fertilizantes nos povoamentos florestais, pode ser uma excelente alternativa à correção dos baixos teores no solo, mesmo nos povoamentos já estabelecidos.

3.2 DEPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA

A quantidade de serapilheira depositada nos três povoamentos de *Pinus taeda* tanto nas estações, quanto no total anual, não foram afetadas significativamente com a aplicação dos tratamentos, analisadas pelo teste F (Tabela 6).

Durante o período de um ano de avaliação, o povoamento de cinco anos teve uma deposição média de 5,7 Mg ha⁻¹. Valor superior aos 2,5 Mg ha⁻¹ encontrado por Viera e Schumacher (2010) em Cambará do Sul/RS, em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco a sete anos de idade, num Cambissolo Húmico alumínico típico. A maior produtividade do presente estudo provavelmente reflete as melhores condições climáticas, especialmente relacionadas à maior luminosidade e temperatura, existentes na região, assim como maiores profundidades do solo e disponibilidade hídrica devido à proximidade com o oceano.

A serapilheira depositada no período de um ano no povoamento de nove anos atingiu cerca de 6,5 Mg ha⁻¹. Valor próximo aos 7,1 Mg ha⁻¹ relatados por Piovesan et al. (2012), em Quedas do Iguaçu/PR, em povoamento de *Pinus taeda* com oito e nove anos, em um Latossolo Vermelho distroférreo.

Koehler (1989), analisando sítios com produtividades diferentes, encontrou deposição média anual variando de 6,5 a 8,7 Mg ha⁻¹, em povoamentos de *Pinus taeda*, com quinze anos de idade, em Ponta Grossa/PR. Valores semelhantes aos 6,8 Mg ha⁻¹ encontrados neste estudo no povoamento de treze anos.

Tabela 6 – Deposição de massa seca de serapilheira durante as estações e no ciclo anual em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados um, cinco e nove anos respectivamente, localizados em Otacílio Costa/SC

Tratamento⁽¹⁾	Massa Seca de Serapilheira				
	Outono⁽²⁾	Inverno	Primavera	Verão	Total
Pinus de 5 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	1137 ns	1048 ns	1220 ns	2070 ns	5474 ns
N0P1K0	941	1126	1396	2158	5616
N1P1K1	1067	1281	1589	1906	5844
N1P2K1	1108	1168	1400	1708	5384
N1P2K2	1115	1354	1667	1999	6134
N2P2K1	1064	1417	1473	1738	5692
CV (%)	20,7	20,1	12,6	12,1	10,9
Pinus de 9 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	812 b	1104 ns	2216 ns	2111 ns	6242 ns
N0P1K0	1178 a	1072	1875	1865	5990
N1P1K1	786 b	1198	2719	1816	6520
N1P2K1	1085 a	1329	2129	1969	6512
N1P2K2	1271 a	1153	1992	2044	6460
N2P2K1	1062 a	1402	2562	2035	7061
CV (%)	17,4	14,7	19,7	12,5	7,5
Pinus de 13 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	1302 ns	839 ns	2264 ns	2239 ns	6643 ns
N0P1K0	1581	981	2275	2358	7195
N1P1K1	1274	1056	2185	2205	6720
N1P2K1	1318	1003	2363	2145	6829
N1P2K2	1277	965	2488	2049	6779
N2P2K1	1261	922	2266	2183	6633
CV (%)	16,8	12,4	13,0	11,1	5,0

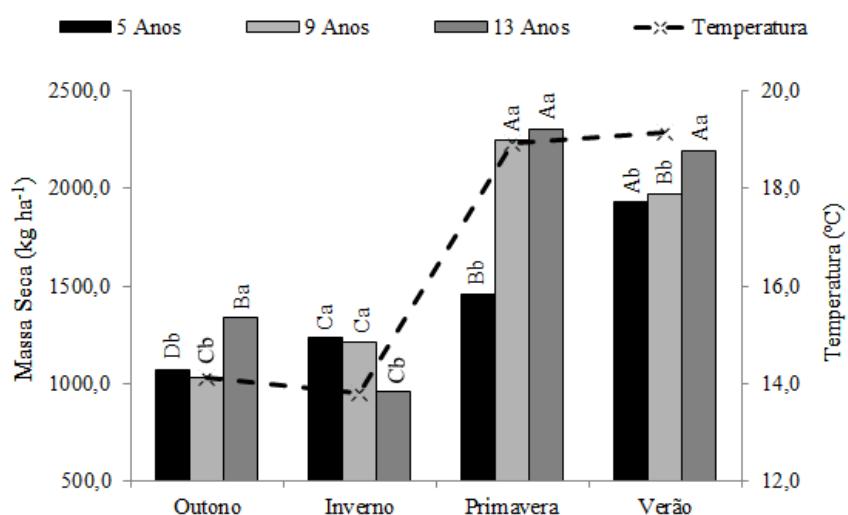
⁽¹⁾ N0P0K0 = 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O; N0P1K0 = 0, 75 e 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P1K1 = 70, 75 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K1 = 70, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K2 = 70, 150 e 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N2P2K1 = 140, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. ⁽²⁾ Início em março/2014. Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância. ns Os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

De forma concordante, Adam (2015) não observou efeito da fertilização sobre a quantidade de serapilheira acumulada, avaliando povoamentos de *Pinus taeda* de onze anos em Jaguariaíva/PR. O autor destaca que em sítios mais pobres a acumulação de serapilheira foi maior, e com a melhora das condições nutricionais do sítio esperava-se diminuição na quantidade de serapilheira acumulada, porém este fato pode ser devido ao curto período de avaliação, que no estudo foi de quatro anos após a aplicação dos tratamentos, tempo semelhante ao presente estudo. Já Jandl et al. (2003) avaliando um povoamento de *Pinus sylvestris* no norte da Áustria, vinte anos após a aplicação de fertilizantes observaram diminuição na quantidade de serapilheira depositada.

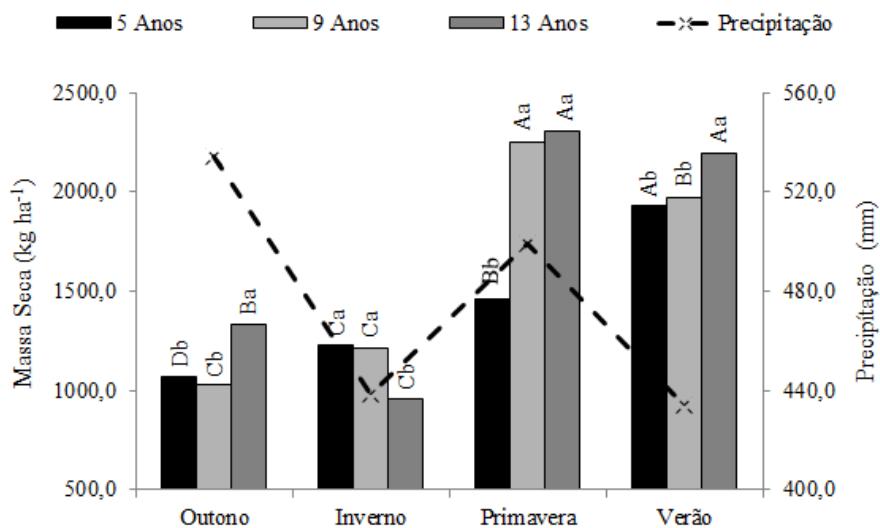
Em relação a produção estacional de serapilheira, houve diferença significativa entre as estações, sendo que no povoamento de cinco anos a acumulação de serapilheira foi maior no Verão, seguido pela Primavera, Inverno e o Outono (Figura 2a). Já no povoamento de nove anos, a Primavera foi a estação com maior acúmulo de serapilheira, seguido do Verão, porém não houve diferença entre Inverno e Outono. Para o povoamento de treze anos, o Verão e a Primavera foram igualmente as estações com maior acúmulo de serapilheira, seguidas pelo Outono e Inverno.

Figura 2 - Produção de serapilheira ao longo das estações do ano (03/2014 a 03/2015) e variações médias da temperatura (a) e precipitação (b), em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, em Otacílio Costa/SC

a)



b)



Médias seguidas da mesma letra maiúscula em cada idade, e minúscula em cada estação, não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância.

Segundo Neves (2012), que desenvolveu estudo de ciclagem com *Eucalyptus dunnii* de um, dois e três anos de idade em Bocaina do Sul/SC, cidade vizinha ao atual estudo e com mesmo tipo de solo, as maiores acumulações de serapilheira, em geral, estão associadas às estações de maior crescimento vegetativo, as quais se associam com o aumento da temperatura média das estações do ano, corroborando os resultados presentes. Além disso, pode-se inferir que a elevação da temperatura contribui para maior deposição de serapilheira devido ao fato de ela provocar maior transpiração das plantas (VIERA; SCHUMACHER, 2010).

Em estudo com *Eucalyptus benthamii*, com sete anos de idade, em Lages/SC, cidade limítrofe do presente estudo, Inkotte et al. (2015) constataram maior acúmulo de serapilheira na primavera seguida do verão. Já em estudo com *Pinus taeda* L. aos cinco a sete anos, em Cambará do Sul/RS), sobre um Cambissolo Húmico alumínico típico, Schumacher, Viera e Witschoreck (2008) observaram que o povoamento apresentou magnitude sazonal média de acúmulo seguindo a ordem estacional inverno = outono > verão > primavera, sendo esta variável em cada ano de observação e não estando bem definida, em razão da juvenilidade das plantas. Algo totalmente diferente do atual trabalho, onde nas estações com maiores temperaturas ocorreram as maiores deposições de serapilheira.

Estes estudos demonstram que não só a temperatura e a precipitação podem ser atuantes na deposição de serapilheira, mas também outras características intrínsecas de cada região,

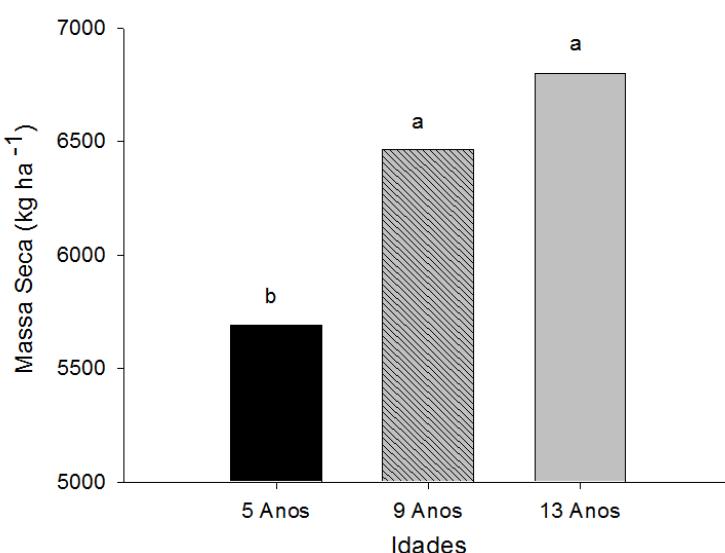
como por exemplo, a presença de massas polares oceânicas no caso de Cambará do Sul/RS, fazendo com que a mesma espécie, sobre o mesmo tipo de solo se comporte de maneira tão diferente, por isso a necessidade da realização de estudos específicos para cada local.

A alta produção de serapilheira nas estações com menor precipitação pode acontecer, uma vez que a redução da precipitação pode ocasionar no ecossistema florestal um estresse hídrico, o qual utiliza a queda de folhas como estratégia de sobrevivência das plantas, para diminuir seu consumo de água, evitando a perda de água através da transpiração (MOREIRA; SILVA, 2004; VIERA; SCHUMACHER, 2010). Isto pode ser observado na Figura 2a e 2b, que na ocasião do inverno teve temperatura média ligeiramente menor que o outono, porém com grande diferença na precipitação média, onde a diferença foi de aproximadamente 100 mm a menos, o que provavelmente causou uma maior produção de serapilheira.

Entretanto, a principal causa de maior acumulação de serapilheira neste estudo pode ser associada à temperatura. De forma concordante Brun et al. (2001) relatam que a temperatura influencia a acumulação de serapilheira de maneira mais marcante que a precipitação.

Comparando as médias anuais de serapilheira acumulada nos três povoamentos, os de nove e treze anos obtiveram as maiores quantidades depositadas, não diferindo estatisticamente entre si, enquanto que o povoamento de cinco anos apresentou a menor quantidade (Figura 3).

Figura 3 - Médias anuais (03/2014 a 03/2015) de serapilheira depositada em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, em Otacílio Costa/SC



Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância.

Em experimento realizado por Viera e Schumacher (2010) também foi constatado comportamento semelhante ao observado no atual estudo, onde a acumulação de serapilheira aumentou com o passar dos anos. Segundo Bray e Gorham (1964), em geral observa-se um aumento na deposição de serapilheira até a idade madura ou fechamento das copas, após pode ocorrer um pequeno decréscimo ou estabilização.

3.3 APORTE DE NUTRIENTES NA SERAPILHEIRA

Os aportes dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg contidos na serapilheira dentro de cada estação climática para os diferentes povoamentos encontram-se representados nas Tabelas 7 a 11 e Figuras 4 a 8. De maneira geral, não houve diferenças significativas entre os tratamentos no aporte dos nutrientes determinados na serapilheira, quando esses são comparados dentro das estações ou no acumulado do ano. O aporte total de N no povoamento de nove anos teve aumento significativo, nos tratamentos N0P0K0, N1P1K1 e N2P2K1 (Tabela 7), embora os valores sejam bastante próximos, podendo esta diferença ter ocorrido pelo baixo coeficiente de variação dos dados, pois não tem relação aparente com a adubação, já que os tratamentos com maiores aportes de N não coincidem com os tratamentos que receberam maiores dosagens de N na fertilização.

Na média das estações houve diferença significativa na deposição de serapilheira (Figura 4), sendo que o povoamento de cinco anos no Verão se obteve maior aporte de N ($20,1 \text{ kg ha}^{-1}$), seguido pela Primavera ($13,3 \text{ kg ha}^{-1}$), Inverno ($14,8 \text{ kg ha}^{-1}$), e o Outono ($12,3 \text{ kg ha}^{-1}$) que não apresentaram diferença entre si. No povoamento de nove anos, a Primavera ($24,5 \text{ kg ha}^{-1}$) e o Verão ($23,3 \text{ kg ha}^{-1}$) foram as estações igualmente com maior aporte de N, seguido do Inverno ($16,7 \text{ kg ha}^{-1}$) e Outono ($10,7 \text{ kg ha}^{-1}$).

Para o povoamento de treze anos, o Verão ($21,2 \text{ kg ha}^{-1}$) e a Primavera ($22,5 \text{ kg ha}^{-1}$) foram igualmente as estações com maior aporte de N, seguidas pelo Outono ($10,7 \text{ kg ha}^{-1}$) e Inverno ($11,2 \text{ kg ha}^{-1}$), os quais não diferenciaram.

Em função dos resultados obtidos e de maneira abrangente, pode-se inferir que o aporte de N via serapilheira é maior nas estações com maior temperatura. De outro lado, constatou-se que dentro de cada estação, o aporte de N é maior no povoamento de nove anos apresentando os maiores valores ($75,3 \text{ kg ha}^{-1}$), seguido do povoamento de treze ($65,7 \text{ kg ha}^{-1}$), e por último o de cinco anos ($60,5 \text{ kg ha}^{-1}$).

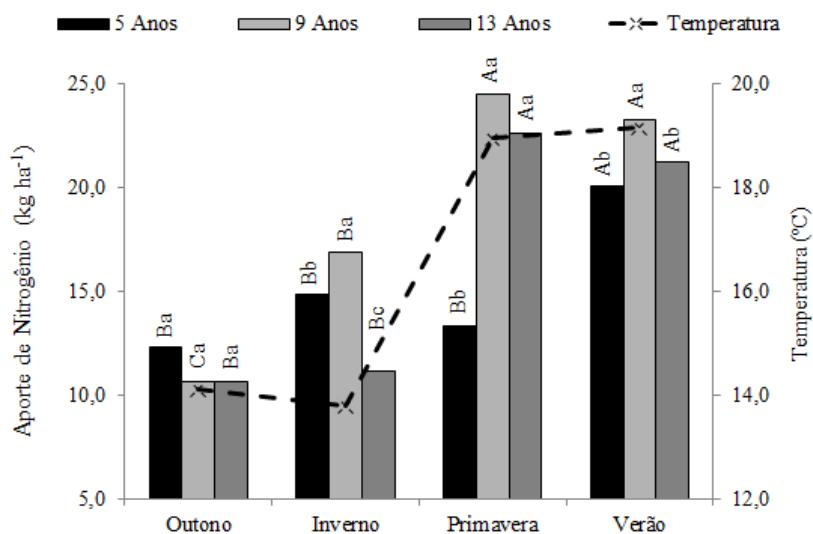
Tabela 7 - Aporte de nitrogênio via serapilheira ao longo das estações (03/2014 a 03/2015) em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos nos diferentes tratamentos respectivamente, localizados em Otacílio Costa/SC

Tratamento⁽¹⁾	Aporte de N				
	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Total
Pinus de 5 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	14,86 ns	12,76 ns	9,52 ns	20,46 ns	57,60 ns
N0P1K0	11,17	13,12	11,78	23,06	59,13
N1P1K1	11,19	16,26	18,42	18,12	63,99
N1P2K1	12,53	14,46	10,53	19,18	56,70
N1P2K2	11,66	15,75	13,98	19,68	61,07
N2P2K1	12,38	16,7	15,67	20,02	64,77
CV (%)	19,98	23,09	27,68	20,04	15,56
Pinus de 9 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	8,20 ns	16,16 ns	23,02 ns	24,67 ns	72,06 a
N0P1K0	12,98	14,36	19,51	22,88	69,73 b
N1P1K1	9,54	16,76	29,32	22,85	79,48 a
N1P2K1	11,37	17,75	21,41	21,05	71,58 b
N1P2K2	10,32	16,19	22,91	22,65	72,07 b
N2P2K1	11,71	19,05	30,88	25,47	87,12 a
CV (%)	29,04	13,04	20,51	21,79	8,42
Pinus de 13 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	10,39 ns	10,18 ns	21,22 ns	22,88 ns	64,66 ns
N0P1K0	6,89	10,66	18,99	22,87	59,41
N1P1K1	9,83	12,85	23,94	20,21	67,84
N1P2K1	13,36	11,86	25,09	18,81	69,12
N1P2K2	10,68	11,32	23,06	21,41	66,47
N2P2K1	12,90	10,19	22,56	21,21	66,88
CV (%)	38,55	19,95	35,45	16,00	10,56

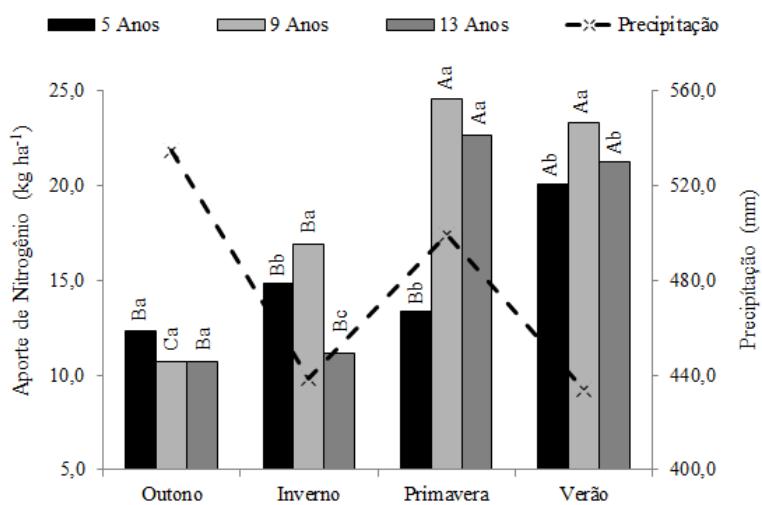
⁽¹⁾ N0P0K0 = 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O; N0P1K0 = 0, 75 e 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P1K1 = 70, 75 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K1 = 70, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K2 = 70, 150 e 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N2P2K1 = 140, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância. ns Os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

Figura 4 - Aporte de nitrogênio ao longo das estações (03/ 2014 a 03/2015) em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, representados junto com a temperatura (a) e precipitação (b) médias por estação, em Otacílio Costa/SC

a)



b)



Médias seguidas da mesma letra maiúscula em cada idade, e minúscula em cada estação, não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância.

No aporte total de P não foi constatado diferenças significativas entre os tratamentos e as estações do ano em todos os povoamentos (Tabela 8).

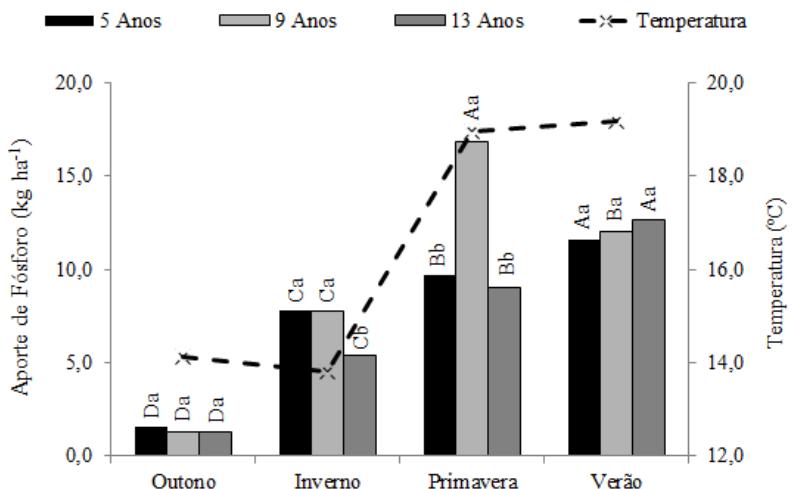
Tabela 8 - Aporte de fósforo ao longo das estações (03/2014 a 03/2015) em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, nos diferentes tratamentos, localizados em Otacílio Costa/SC

Tratamento⁽¹⁾	Aporte de P				
	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Total
Pinus de 5 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	1,42 ns	5,73 ns	10,08 ns	11,98 ns	29,21 ns
N0P1K0	1,60	5,81	7,79	13,08	28,28
N1P1K1	1,49	8,80	8,73	12,27	29,28
N1P2K1	1,78	8,02	10,54	10,59	30,94
N1P2K2	1,52	6,79	9,05	12,39	29,73
N2P2K1	1,49	11,76	12,05	11,16	36,46
CV (%)	28,26	37,10	27,00	21,30	17,97
Pinus de 9 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	1,15 b	6,67 ns	14,78 ns	13,12 ns	35,82 ns
N0P1K0	1,77 a	7,06	13,65	11,51	33,99
N1P1K1	0,91 b	7,96	15,77	10,35	34,99
N1P2K1	1,12 b	7,53	20,33	10,6	39,50
N1P2K2	1,62 a	9,34	18,66	13,92	43,55
N2P2K1	1,18 b	8,06	17,90	12,50	39,64
CV (%)	24,61	26,60	18,33	11,19	9,43
Pinus de 13 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	0,97 ns	4,24 ns	8,54 ns	12,66 ns	26,41 ns
N0P1K0	1,24	5,02	10,92	12,53	29,71
N1P1K1	1,05	6,12	7,23	12,27	26,67
N1P2K1	1,79	5,90	9,48	11,77	28,94
N1P2K2	1,32	4,77	9,70	12,28	28,08
N2P2K1	1,51	6,41	8,23	14,31	30,47
CV (%)	24,99	18,28	23,92	16,76	11,66

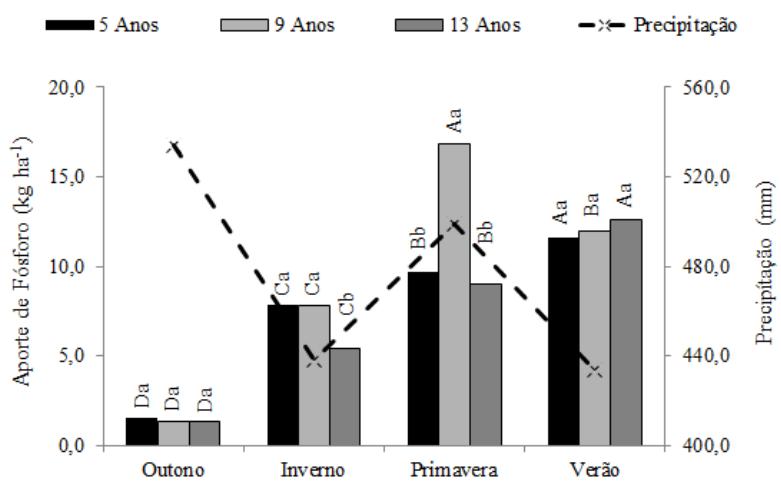
⁽¹⁾ N0P0K0 = 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O; N0P1K0 = 0, 75 e 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P1K1 = 70, 75 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K1 = 70, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K2 = 70, 150 e 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N2P2K1 = 140, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância. ns Os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

Figura 5 - Aperto de fósforo ao longo das estações (03/2014 a 03/) em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, temperatura e precipitação médias por estação, em Otacílio Costa/SC

a)



b)



Médias seguidas da mesma letra maiúscula em cada idade, e minúscula em cada estação, não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância.

O povoamento de cinco anos obteve no Verão ($11,9 \text{ kg ha}^{-1}$) o maior aperto de P, seguido pela Primavera ($9,7 \text{ kg ha}^{-1}$), Inverno ($7,8 \text{ kg ha}^{-1}$), e o Outono ($1,6 \text{ kg ha}^{-1}$). No povoamento de nove anos, a Primavera foi a estação com maior aperto de P ($16,8 \text{ kg ha}^{-1}$), seguido pelo Verão

(12,0 kg ha⁻¹), Inverno (7,8 kg ha⁻¹) e o Outono (1,3 kg ha⁻¹). Para o povoamento de treze anos, o Verão (12,6 kg ha⁻¹) foi a estação com maior aporte de P, seguida pela Primavera (9,0 kg ha⁻¹), Inverno (5,4 kg ha⁻¹) e Outono (1,3 kg ha⁻¹). Conforme resultados obtidos, de maneira geral, pode-se inferir que o aporte de P proveniente da serapilheira é maior nas estações com maior temperatura.

Dentro de cada estação, praticamente não houve diferenças entre as idades quanto ao aporte de P, apenas o povoamento de nove anos se destacou na primavera. No aporte total do ano, o povoamento de nove anos apresentou o maior valor (37,9 kg ha⁻¹), seguido do povoamento de cinco (30,7 kg ha⁻¹), e por último o de treze anos (28,4 kg ha⁻¹).

Para o aporte total de K, não foi observado diferenças significativas entre os tratamentos e estações do ano em todos os povoamentos estudados (Tabela 9).

Pode-se observar que na média das estações houve diferença significativa no aporte de K (Figura 6), sendo que no povoamento de cinco anos, o Verão foi a estação com maior aporte de K (3,3 kg ha⁻¹), seguido pela Primavera (2,8 kg ha⁻¹), Inverno (1,6 kg ha⁻¹) e o Outono (1,8 kg ha⁻¹) que apresentaram valores menores e similares.

No povoamento de nove anos, a Primavera e o Verão foram igualmente as estações com maior aporte de K, produzindo cerca de 3,7 e 3,2 kg ha⁻¹, respectivamente. Em seguida, o Inverno e o Outono depositaram quantidades similarmente menores (1,4 e 1,5 kg ha⁻¹, respectivamente). Para o povoamento de treze anos, a Primavera foi a estação com maior aporte de K (2,7 kg ha⁻¹), seguida pelo Verão (2,2 kg ha⁻¹) e Outono (1,9 kg ha⁻¹) com quantidades intermediárias, e o Inverno (0,9 kg ha⁻¹) com menor valor.

De forma abrangente, pode-se verificar que o aporte de K proveniente da serapilheira também é mais expressivo nas estações com maior temperatura.

Comparando dentro de cada estação, praticamente não houve diferenças entre as idades no aporte de K (Figura 6), o povoamento de nove anos obteve o maior valor no aporte total do ano (9,6 kg ha⁻¹), seguido do povoamento de cinco (9,5 kg ha⁻¹), e por último o de treze anos (7,8 kg ha⁻¹).

Os valores observados para K são bastante inferiores aos de N e P, isto porque grande parte de K pode ser redistribuída a partes crescentes das plantas por translocação a taxas superiores a 90 % (VIEIRA; SCHUMACHER, 2009). As acículas perdem a maior parte do K antes de caírem da árvore, além disso o K é fracamente ligado à matéria orgânica e pode ser facilmente lixiviado dos resíduos.

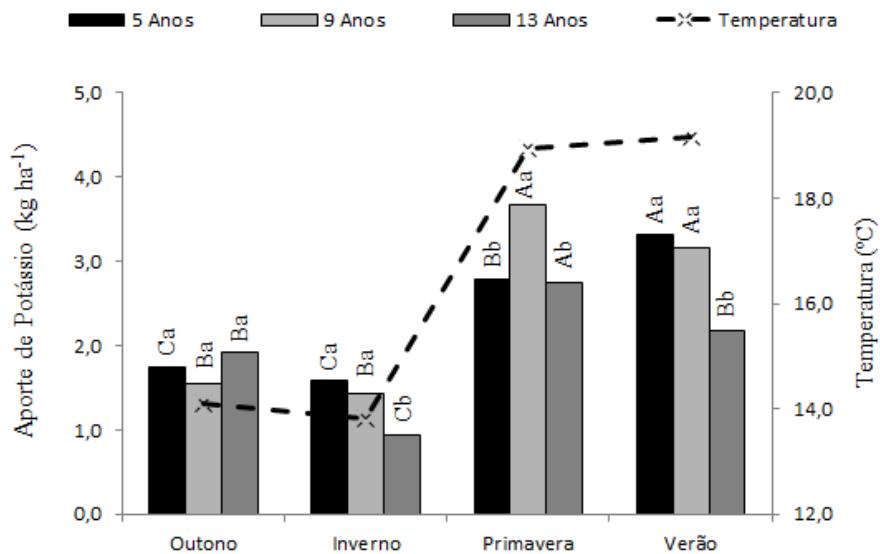
Tabela 9 - Aporte de potássio ao longo das estações (03/ 2014 a 03/2015) em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, nos diferentes tratamentos, localizados em Otacílio Costa/SC

Tratamento ⁽¹⁾	Aporte de K				
	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Total
Pinus de 5 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	1,43 ns	1,19 ns	1,72 ns	3,22 ns	7,55 ns
N0P1K0	1,25	1,41	2,74	3,67	9,07
N1P1K1	1,93	1,84	3,51	3,33	10,61
N1P2K1	2,12	1,51	2,80	3,04	9,48
N1P2K2	1,53	1,43	3,04	3,36	9,37
N2P2K1	2,26	2,10	2,93	3,34	10,63
CV (%)	32,83	26,81	22,46	27,13	21,39
Pinus de 9 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	1,20 ns	1,37 ns	3,71 ns	3,47 ns	9,75 ns
N0P1K0	2,24	1,09	2,61	2,76	8,70
N1P1K1	1,17	1,56	4,75	3,02	10,51
N1P2K1	1,35	1,42	3,29	2,95	9,01
N1P2K2	1,71	1,48	3,12	3,31	9,62
N2P2K1	1,58	1,71	4,50	3,47	10,27
CV (%)	40,96	16,79	25,59	15,99	12,16
Pinus de 13 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	2,02 ns	0,82 ns	2,39 ns	2,11 ns	7,34 ns
N0P1K0	2,11	0,87	2,70	2,32	8,00
N1P1K1	2,08	1,09	2,71	2,41	8,3
N1P2K1	2,22	0,93	2,87	1,95	7,97
N1P2K2	1,44	1,01	3,03	2,12	7,61
N2P2K1	1,61	0,86	2,77	2,13	7,38
CV (%)	45,19	15,42	18,09	19,27	12,97

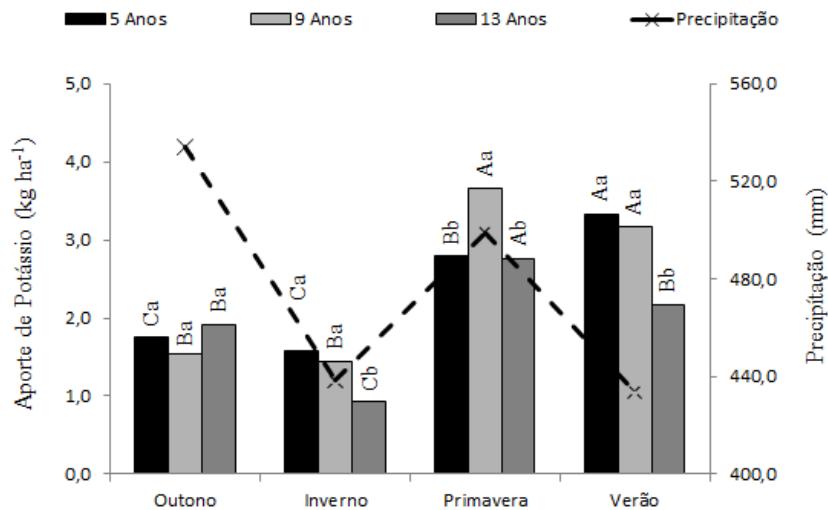
⁽¹⁾ N0P0K0 = 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O; N0P1K0 = 0, 75 e 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P1K1 = 70, 75 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K1 = 70, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K2 = 70, 150 e 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N2P2K1 = 140, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. ⁽²⁾ Início em março/2014. Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância. ns Os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

Figura 6 - Aporte de potássio ao longo das estações (03/2014 a 03/2015) em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, temperatura e precipitação médias por estação, em Otacílio Costa/SC

a)



b)



Médias seguidas da mesma letra maiúscula em cada idade, e minúscula em cada estação, não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância.

No aporte total de Ca, não houve diferenças significativas entre os tratamentos no povoamento de cinco anos (Tabela 10). Entretanto, nos povoamentos de nove e treze anos os

tratamentos N1P2K1, N1P2K2 e N2P2K1 foram os que tiveram os maiores valores de aporte desse nutriente.

Considerando a média das estações, no aporte de Ca (Figura 7), observa-se que não houve diferença significativa no povoamento de cinco anos, onde o aporte no Outono, Inverno, e Verão não diferiram entre si, apresentando um valor de $0,4 \text{ kg ha}^{-1}$. Para o povoamento de nove anos, a Primavera foi a estação com maior aporte de Ca ($0,5 \text{ kg ha}^{-1}$), seguida pelo Verão ($0,4 \text{ kg ha}^{-1}$) e Inverno ($0,3 \text{ kg ha}^{-1}$), e o Outono ($0,2 \text{ kg ha}^{-1}$) com menor valor. Já no povoamento de treze anos, observou-se maior aporte na Primavera ($0,3 \text{ kg ha}^{-1}$), seguido do Verão ($0,2 \text{ kg ha}^{-1}$), Inverno ($0,1 \text{ kg ha}^{-1}$), e o Outono ($0,1 \text{ kg ha}^{-1}$) com quantidades similarmente menores.

Tabela 10 - Aporte de cálcio ao longo das estações (03/2014 a 03/2015) em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, nos diferentes tratamentos, localizados em Otacílio Costa/SC

Tratamento ⁽¹⁾	Aporte de Ca				
	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Total
Pinus de 5 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	0,36 ns	0,30 ns	0,31 ns	0,44 ns	1,41 ns
N0P1K0	0,30	0,32	0,38	0,47	1,47
N1P1K1	0,30	0,34	0,41	0,29	1,35
N1P2K1	0,42	0,41	0,52	0,41	1,77
N1P2K2	0,37	0,39	0,41	0,27	1,44
N2P2K1	0,44	0,48	0,46	0,38	1,77
CV (%)	29,11	15,76	14,76	34,91	16,89
Pinus de 9 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	0,15 b	0,22 b	0,41 ns	0,18 b	0,95 b
N0P1K0	0,25 a	0,26 b	0,41	0,20 b	1,12 b
N1P1K1	0,16 b	0,29 b	0,53	0,27 b	1,25 b
N1P2K1	0,26 a	0,35 a	0,49	0,44 a	1,54 a
N1P2K2	0,28 a	0,28 b	0,44	0,46 a	1,47 a
N2P2K1	0,22 a	0,33 a	0,59	0,41 a	1,56 a
CV (%)	16,52	11,94	16,39	34,14	9,22

Pinus de 13 Anos

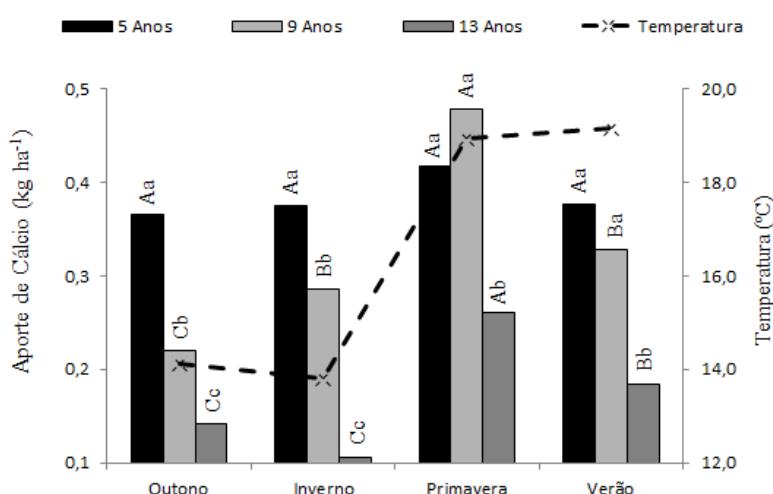
	kg ha⁻¹				
N0P0K0	0,09 b	0,07 ns	0,19 b	0,08 ns	0,43 b
N0P1K0	0,16 a	0,10	0,32 a	0,17	0,76 a
N1P1K1	0,10 b	0,09	0,19 b	0,15	0,54 b
N1P2K1	0,16 a	0,13	0,31 a	0,19	0,78 a
N1P2K2	0,17 a	0,12	0,32 a	0,26	0,86 a
N2P2K1	0,16 a	0,12	0,23 b	0,25	0,77 a
CV (%)	25,04	22,19	25,98	35,3	17,49

⁽¹⁾ N0P0K0 = 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O; N0P1K0 = 0, 75 e 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P1K1 = 70, 75 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K1 = 70, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K2 = 70, 150 e 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N2P2K1 = 140, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância. ns Os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

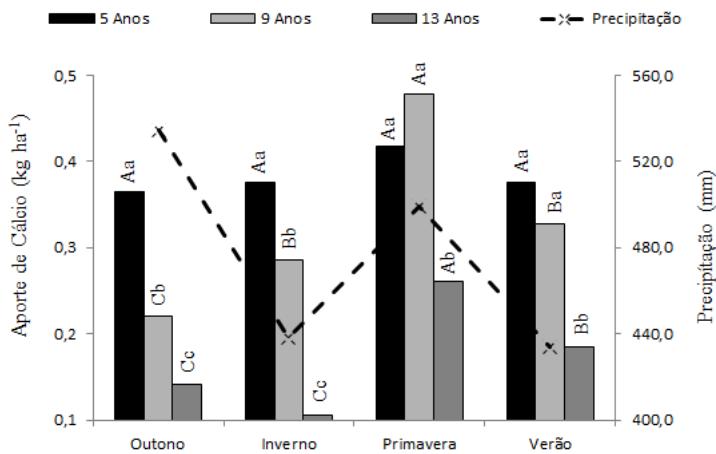
Comparando dentro de cada estação, em geral o povoamento de cinco anos obteve os maiores valores de aporte de Ca (1,5 kg ha⁻¹) no total do ano, seguido do povoamento de nove anos (1,3 kg ha⁻¹), e por último o de treze anos (0,7 kg ha⁻¹).

Figura 7 - Aporte de cálcio ao longo das estações (03/2014 a 03/2015) em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, temperatura e precipitação médias por estação, em Otacílio Costa/SC

a)



b)



Médias seguidas da mesma letra maiúscula em cada idade, e minúscula em cada estação, não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância.

Para o aporte total de Mg, nos três povoamentos, não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos. Embora o povoamento de nove anos tenha apresentado diferenças no aporte de Mg nas estações do Outono e Inverno, e no povoamento de treze anos no Inverno, esses valores não foram suficientes para gerar diferenças na quantidade total de aporte (Tabela 11).

Na média das estações houve diferença significativa (Figura 8) no aporte de Mg via serapilheira, sendo que no povoamento de cinco anos o Verão ($1,6 \text{ kg ha}^{-1}$), Primavera ($1,9 \text{ kg ha}^{-1}$) e o Inverno ($1,6 \text{ kg ha}^{-1}$) foram igualmente as estações com maior aporte de Mg, seguidos pelo Outono ($1,0 \text{ kg ha}^{-1}$).

No povoamento de nove anos, a Primavera foi a estação com maior aporte de Mg ($2,3 \text{ kg ha}^{-1}$), seguida do Verão ($1,2 \text{ kg ha}^{-1}$) e Inverno ($1,3 \text{ kg ha}^{-1}$) que não diferiram entre si, e por último o Outono ($0,7 \text{ kg ha}^{-1}$). Para o povoamento de treze anos, a Primavera ($2,0 \text{ kg ha}^{-1}$) foi a estação com maior aporte de Mg, seguida pelo Verão ($1,3 \text{ kg ha}^{-1}$), pelo Inverno ($0,8 \text{ kg ha}^{-1}$), e o Outono ($0,4 \text{ kg ha}^{-1}$) o qual teve o menor valor.

Conforme o exposto, observa-se que em todos os povoamentos as estações que promoveram o maior aporte de Mg foram Primavera seguida pelo Verão, estações que apresentam maior temperatura, condição favorável à maior queda das folhas velhas, e consequente maior disponibilidade dos nutrientes (SELLE, 2007).

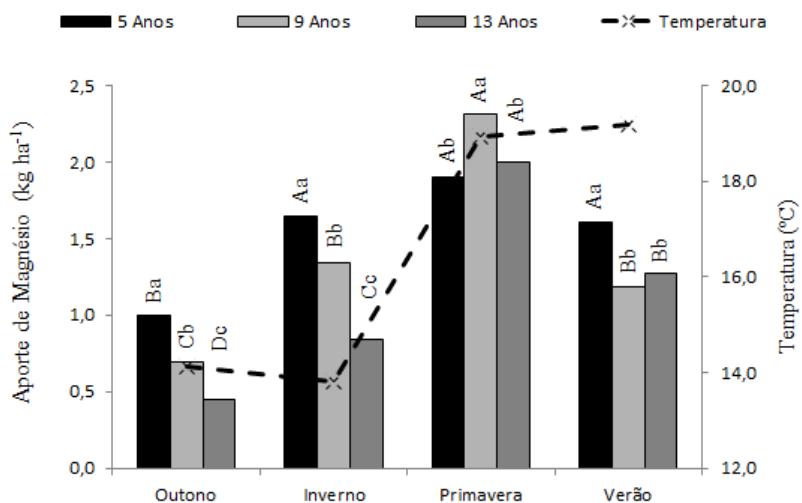
Tabela 11 - Aporte de magnésio ao longo das estações (03/ 2014 a 03/2015) em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, nos diferentes tratamentos, localizados em Otacílio Costa/SC

Tratamento ⁽¹⁾	Aporte de Mg				
	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Total
Pinus de 5 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	1,13 ns	1,28 ns	1,39 ns	1,63 ns	5,43 ns
N0P1K0	0,88	1,45	1,98	1,93	6,25
N1P1K1	0,90	1,64	2,04	1,23	5,81
N1P2K1	1,15	1,69	2,21	1,57	6,62
N1P2K2	0,89	1,63	1,82	1,67	6,02
N2P2K1	1,04	2,17	1,98	1,62	6,81
CV (%)	28,12	32,44	18,50	28,07	19,50
Pinus de 9 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	0,51 b	1,18 b	2,13 ns	1,06 ns	4,88 ns
N0P1K0	0,82 a	1,14 b	2,25	1,39	5,59
N1P1K1	0,55 b	1,38 a	2,61	1,27	5,81
N1P2K1	0,78 a	1,53 a	2,30	1,19	5,80
N1P2K2	0,80 a	1,17 b	2,07	0,99	5,04
N2P2K1	0,71 a	1,62 a	2,55	1,22	6,10
CV (%)	19,38	14,45	15,74	17,32	11,21
Pinus de 13 Anos					
kg ha⁻¹					
N0P0K0	0,61 a	0,77 ns	1,92 ns	1,19 ns	4,50 ns
N0P1K0	0,53 a	0,95	2,18	1,57	5,23
N1P1K1	0,39 b	0,84	1,76	1,26	4,25
N1P2K1	0,40 b	0,85	2,00	1,19	4,44
N1P2K2	0,37 b	0,79	2,18	1,08	4,41
N2P2K1	0,38 b	0,83	1,98	1,36	4,55
CV (%)	23,62	20,36	20,23	16,96	12,53

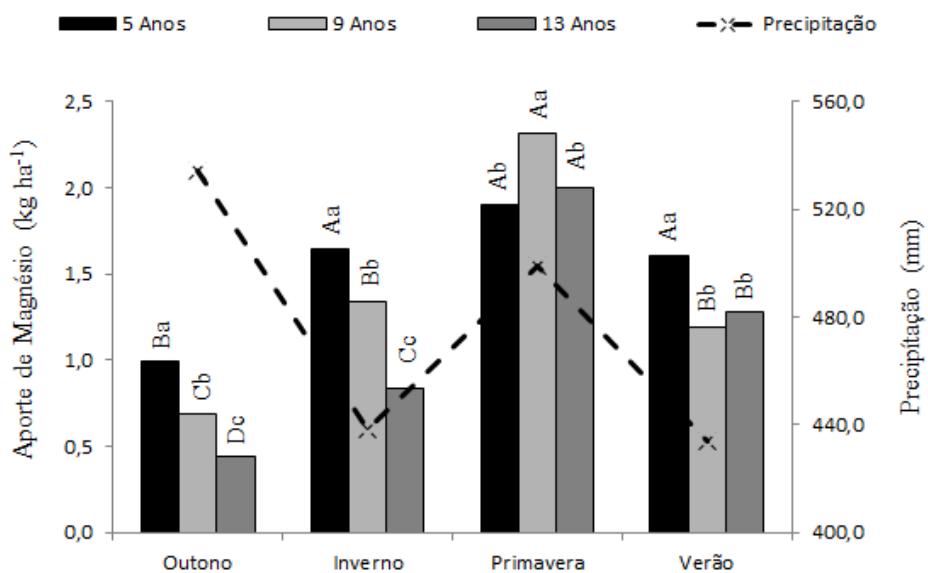
⁽¹⁾ N0P0K0 = 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O; N0P1K0 = 0, 75 e 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P1K1 = 70, 75 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K1 = 70, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K2 = 70, 150 e 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N2P2K1 = 140, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância. ns Os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

Figura 8 - Aporte de magnésio ao longo das estações (03/2014 a 03/2015) em povoamentos de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, temperatura e precipitação médias por estação, em Otacílio Costa/SC

a)



b)



Médias seguidas da mesma letra maiúscula em cada idade, e minúscula em cada estação, não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância.

Comparando-se o aporte de Mg via serapilheira dentro de cada estação, o povoamento de cinco anos obteve os maiores valores, sendo que no total do ano teve aporte de 6,2 kg ha⁻¹,

seguido do povoamento de nove anos com 5,5 kg ha⁻¹, e por último o de treze anos com 4,6 kg ha⁻¹.

Reissmann e Wisniewski (2005) compilaram a variação das quantidades de nutrientes na serapilheira de povoamentos de *Pinus taeda*, com base em dados de literatura, e observaram que as variações ocorrem em função de fatores como a quantidade de serapilheira depositada, idade do povoamento e tipo do solo. Naquele estudo os autores relataram ampla variação no aporte de nutrientes na serapilheira, com valores, em kg ha⁻¹, de 61 a 725 para o N, 5 a 42 para o P, 9 a 35 para o K, 42 a 87 para o Ca e de 8 a 18 para o Mg.

Koehler (1989) em povoamentos de *Pinus taeda* L. com quinze anos de idade, em Ponta Grossa/PR sob Terra Bruna Estruturada similar latossólica observou as seguintes quantidades totais de nutrientes acumulados na serapilheira: 48,1 kg ha⁻¹ de N, 3,4 kg ha⁻¹ de P, 7,5 kg ha⁻¹ de K, 20,6 kg ha⁻¹ de Ca, e 5,3 kg ha⁻¹ de Mg.

Já, Balbinot et al. (2000) em um estudo com *Pinus taeda* de cinco anos de idade em Cambará do Sul/RS, sob um Cambissolo Húmico alumínico típico, verificaram os seguintes aportes de nutrientes na serapilheira: 204,9 kg ha⁻¹ de N, 13,9 kg ha⁻¹ de P, 118,1 kg ha⁻¹ de K, 104,2 kg ha⁻¹ de Ca, e 14,7 kg ha⁻¹ de Mg.

Schumacher, Copeti e Vogel (2002) em um povoamento de *Pinus taeda* aos dezoito anos, em Cambará do Sul/RS, sob um Cambissolo Húmico alumínico típico, observaram as seguintes quantidades de nutrientes acumulados na serapilheira: 179,7 kg ha⁻¹ de N, 10,1 kg ha⁻¹ de P, 112,5 kg ha⁻¹ de K, 48,3 kg ha⁻¹ de Ca, e 11,4 kg ha⁻¹ de Mg.

Schumacher, Viera e Witschoreck (2008) em Cambará do Sul/RS, em povoamentos de *Pinus taeda* L. com cinco anos de idade, sob um Cambissolo Húmico alumínico típico observaram as seguintes quantidades de nutrientes na serapilheira: 21,3 kg ha⁻¹ de N, 1,5 kg ha⁻¹ de P, 3,9 kg ha⁻¹ de K, 33,1 kg ha⁻¹ de Ca, e 4,4 kg ha⁻¹ de Mg.

Nesse estudo, em todos os povoamentos avaliados, a devolução de nutrientes por meio da serapilheira seguiu a seguinte ordem: N>P>K>Mg>Ca. Porém, segundo Haag (1985) a sequência N>Ca>K>Mg>P é a mais frequente na maioria dos estudos. Koehler (1989) em povoamentos de *Pinus taeda* L. com quinze anos de idade, em Ponta Grossa/PR sob Terra Bruna Estruturada, também encontrou essa mesma sequência.

Melo e Resck (2002) encontrou a sequência N>Ca>K>P>Mg, em *Pinus caribaea*, de dezesseis anos de idade em Planaltina/DF sob um Latossolo Vermelho. Já Schumacher, Viera e Witschoreck (2008) em Cambará do Sul/RS, em povoamentos de *Pinus taeda* L. do 5º ao 7º ano de idade, sob um Cambissolo Húmico alumínico típico tiveram a seguinte sequência: Ca>N>Mg>K>P.

Enquanto que Morales (2007) obteve a sequência N>Ca>Mg>P>K em povoamentos de *Pinus taeda* com seis anos de idade em Alfredo Wagner, Bocaina do Sul, Otacílio Costa, e Ponte Alta/SC sob diferentes tipos de solo.

Diante destes diversos dados de pesquisa, é possível observar grande variabilidade, pois, diversos fatores atuam sobre o aporte de nutrientes, inclusive características intrínsecas de cada região, por isso há a necessidade de estudos específicos. Para a maioria dos casos, o N é o nutriente com o maior aporte, e o Mg o de menor. Para os macronutrientes avaliados neste estudo, os valores obtidos estão bastante próximo aos encontrados na literatura, com exceção do Ca que apresenta valor quase inexpressivo, isto pode ser devido ao baixo teor de Ca no solo, que mesmo em tratamentos que receberam Ca através do SFT e tiveram seu teor aumentado no solo, continuaram na faixa de interpretação como baixo. Associado a isso, é conhecida baixa mobilidade deste elemento nas plantas (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006), fazendo com que não se redistribua com facilidade no vegetal.

3.4 CORRELAÇÃO ENTRE DADOS METEOROLÓGICOS, MASSA SECA DE SERAPILHEIRA E APORTE DE NUTRIENTES

Os coeficientes obtidos (Tabela 12) corroboram com o que já foi observado nas Figuras 2, 4, 5, 6, 7 e 8, de que a produção de serapilheira e o aporte de nutrientes possuem forte correlação com a temperatura, já com a precipitação o efeito é inverso, a correlação é fraca ou inversa para a maioria dos casos. Ou seja, quanto maior a temperatura, maior o acúmulo de massa seca de serapilheira e maior o aporte de nutrientes, e quanto maior a precipitação, menor acúmulo de massa seca de serapilheira e maior o aporte de nutrientes.

Essa situação é amplamente observada em povoamentos florestais (SELLE, 2007), pois com o início das estações mais quentes há a retomada do crescimento das plantas, favorecendo o surgimento de folhas novas e queda das mais velhas, pela renovação da copa. Já a menor precipitação faz com que as plantas diminuam seu consumo de água, evitando a perda de água através da transpiração, com estratégia de sobrevivência (VIERA; SCHUMACHER, 2010).

Tabela 12 - Coeficientes de correlação simples de Pearson entre os dados meteorológicos de temperatura (°C) e precipitação (mm), massa seca de serapilheira (kg ha⁻¹), e o aporte dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg (kg ha⁻¹), em povoamentos de *Pinus taeda* cum cinco, nove e treze anos, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos de idade, em Otacílio Costa/SC

Dados Meteorológicos	Massa Seca	Aporte de N	Aporte de P	Aporte de K	Aporte de Ca	Aporte de Mg
Pinus 5 Anos						
Temperatura	0,85 ns	0,53 ns	0,62 ns	0,97 *	0,63 ns	0,62 ns
Precipitação	-0,62 ns	-0,80 ns	-0,61 ns	-0,30 ns	0,1 ns	-0,54 ns
Pinus 9 Anos						
Temperatura	0,96*	0,89 ns	0,68 ns	0,98 *	0,76 ns	0,59 ns
Precipitação	-0,22 ns	-0,49 ns	-0,19 ns	-0,10 ns	-0,08 ns	-0,09 ns
Pinus 13 Anos						
Temperatura	0,97*	0,99 *	0,85 ns	0,80 ns	0,85 ns	0,84 ns
Precipitação	0,00 ns	-0,21 ns	-0,54 ns	0,41 ns	0,23 ns	-0,15 ns

* Significativo em 5% de probabilidade de erro, pelo Teste t; ns Não significativo.

3.5 CORRELAÇÃO ENTRE DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES NO SOLO E SEU APORTE VIA SERAPILHEIRA

Os coeficientes encontrados (Tabela 13) não foram significativos pelo Teste t, com exceção do teor de Mg na camada de 0-10 cm e o aporte de Mg pela serapilheira no povoamento de treze anos, que apresentou alta correlação. Estes dados concordam com a ausência de resposta de aporte de nutrientes à adubação com NPK observada.

Wisniewski e Reissmann (1996) avaliaram a concentração de nutrientes em tecidos vegetais e na serapilheira em povoamentos de *Pinus taeda* com oito anos de idade um Quedas do Iguaçu/PR, sobre um Latossolo Vermelho distroférrego, onde observaram que a concentração nem sempre está relacionada diretamente à sua disponibilidade dos nutrientes no solo, ou ao processo de ciclagem de nutrientes.

Esta ausência de significância na correlação, pode ser explicada pelos efeitos de diluição e translocação de nutrientes na planta, especialmente por se tratarem de árvores de grande porte, fazendo com que mesmo nutrientes móveis na planta sejam acumulados em outras partes da planta que não as folhas.

Tabela 13 - Coeficientes de correlação simples de Pearson entre os teores de P, K, Ca e Mg no solo e seus respectivos aportes pela serapilheira em povoamentos de *Pinus taeda* cum cinco, nove e treze anos, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos aos um, cinco e nove anos de idade, em Otacílio Costa/SC

Teores no Solo	Aponte de P	Aponte de K	Aponte de Ca	Aponte de Mg
Pinus 5 Anos				
P 0 - 10 cm	0,67 ns			
P 10 - 20 cm	0,42 ns			
K 0 - 10 cm		0,39 ns		
K 10 - 20 cm		0,42 ns		
Ca 0 - 10 cm			0,74 ns	
Ca 10 - 20 cm			-0,62 ns	
Mg 0 - 10 cm				-0,25 ns
Mg 10 - 20 cm				0,15 ns
Pinus 9 Anos				
P 0 - 10 cm	0,71 ns			
P 10 - 20 cm	0,33 ns			
K 0 - 10 cm		0,09 ns		
K 10 - 20 cm		0,27 ns		
Ca 0 - 10 cm			0,73 ns	
Ca 10 - 20 cm			-0,30 ns	
Mg 0 - 10 cm				-0,49 ns
Mg 10 - 20 cm				-0,49 ns
Pinus 13 Anos				
P 0 - 10 cm	0,60 ns			
P 10 - 20 cm	0,39 ns			
K 0 - 10 cm		-0,22 ns		
K 10 - 20 cm		0,09 ns		
Ca 0 - 10 cm			0,75 ns	
Ca 10 - 20 cm			0,78 ns	
Mg 0 - 10 cm				0,95 **
Mg 10 - 20 cm				0,53 ns

** Significativo em 1% de probabilidade de erro, pelo teste t; ns Não significativo.

4 CONCLUSÕES

Após quatro anos da aplicação dos fertilizantes constatou-se incrementos nos teores de P e Ca na camada de 0-10 cm, e de K, nas camadas e 0-10 e 10-20 cm nos solos sob os três povoamentos avaliados.

A adubação com N, P e K em doses até 140 kg ha⁻¹ de N, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, aplicadas em povoamentos já estabelecidos não influenciou diretamente na quantidade de deposição de serapilheira, e nem no aporte de nutrientes desta.

O comportamento da deposição de serapilheira é dinâmico, variando estacionalmente e sendo influenciado pela temperatura e precipitação, assim como pela idade das árvores. Sendo a maior deposição de serapilheira nas estações de maior temperatura (primavera e verão) e nos povoamentos mais velhos.

REFERÊNCIAS

ADAM, W. M. **Composição química da serapilheira e raízes finas de *Pinus taeda* sob fertilização e calagem.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Estado do Paraná, Curitiba, 2015.

BALBINOT, R. et al. Quantidade de serapilheira e conteúdo de nutrientes em florestas de *Pinus taeda* e floresta nativa, na região dos Campos de Cima da Serra – RS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24. 2000, Santa Maria. Anais... Santa Maria: FERTBIO 2000: Biodinâmica do Solo, 2000.

BATISTA, A. H. **Influência da calagem e adubação na acidez do solo e ciclagem de K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ em plantios de *Pinus taeda* L. no pólo florestal de Jaguariaíva-PR.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Estado do Paraná, Curitiba, 2011.

BRAY, J. R.; GORHAM, E. Litter production in forests of the world. **Advances in Ecological Research**, v. 2, p. 101- 157, 1964.

BRUN, E. J. et al. Relação entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 277-285, 2001.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, UFRGS, 2016. 376 p.

EPAGRI/CIRAM. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/ Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2037>. Acesso em: 30 mar. de 2015.

FERNANDES, M. M. et al. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniæfolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na flona Mário Xavier, RJ. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 163-175, 2006.

FERREIRA, C. A. et al. **Nutrição de *Pinus* no sul do Brasil – diagnóstico e propriedades de pesquisa.** Colombo: Embrapa Florestas. 2001. 23 p. (Documentos 60).

FOX, T. R.; JOKELA, E. J.; ALLEN, H. L. The Evolution of Pine Plantation Silviculture in the Southern United States. Chapter 8, In: RAUSCHER, H. M.; JOHNSEN, K. (Org.). **Southern Forest Science: Past, Present, Future.** USDA For. Ser. South. Res. Sta., Gen. Tech Rep. SRS-75, 2004.408 p.

GODINHO, T. O. et al. Quantificação de biomassa e de nutrientes na serapilheira acumulada em trecho de floresta estacional semidecidual submontana, ES. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 11-20, 2014.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais.** Campinas: Fundação Cargil, 1985. 114 p.

INKOTTE, J. et al. Deposição de serapilheira em reflorestamentos de eucalipto e florestas nativas nas regiões Planalto e Oeste do Estado de Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106 p. 261-270, 2015.

JANDL, R. et al. Forest soil chemistry and mesofauna 20 years after an amelioration fertilization. **Restoration Ecology**, v. 11, n. 2, p. 239-246, 2003.

KOEHLER, W. C. **Variação estacional de deposição de serapilheira e de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* na região de Ponta Grossa - PR.** 1989. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

LACLAU, J. P. at al. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations: main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1771-1785, 2010.

LOPES, V. G. **Quantificação das raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L., na região dos Campos de Cima da Serra, RS.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MELO, J. T.; RESCK, D. V. S. **Retorno, ao solo, de nutrientes de serapilheira de pinus no cerrado do Distrito Federal.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 18p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento/Embrapa Cerrados, n. 75).

MILLER, H. G. Nutrient cycles in forest plantations, their change with age and consequences for fertilizer practice. In: AUSTRALIAN FOREST NUTRITION WORKSHOP ON PRODUCTIVITY IN PERPETUITY, 1981, Canberra. **Anais...** Canberra: CSIRO, 1981, p. 187-189.

MORALES, C. A. S. **Relação entre atributos do solo com a produtividade de *Pinus taeda*.** 2007. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2007.

MOREIRA, P. R.; SILVA, O. A. Produção de serapilheira em área reflorestada. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 49-59, 2004.

MORO, L. **Resposta de *Pinus taeda* com um, cinco e nove anos à adubação NPK no Planalto Catarinense.** 2013. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

NEVES; L. S.; ERNANI P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n. 1, p. 25-32, 2009.

NEVES, C. U. **Ciclagem de nutrientes em plantios de *Eucalyptus dunnii* em idade de 1, 2 e 3 anos no Planalto Sul Catarinense.** 2012. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

OLIVEIRA, J. P. M.; et al. Alterações químicas e avaliação de P disponível na região adjacente aos grânulos de superfosfato triplo e diamônio fosfato em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 38, n. 5, p. 1526-1536. 2014.

OTACÍLIO COSTA. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Otac%C3%ADlio_Costa>. Acesso em 04 dez. 2016.

PAGANO, S. N.; DURIGAN, G. Aspectos da ciclagem de nutrientes em matas ciliares do oeste do Estado de São Paulo, Brasil. In: RODRIGUES, R. R; LEITÃO FILHO H. F. (Org.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Editora da USP, Fapesp, 2000. p. 109-123.

PIOVESAN, G. et al. Deposição de serapilheira em povoamento de pinus. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 206-211, 2012.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Org). **Nutrição e fertilização florestal**. 2. ed. Piracicaba: IPEF, 2005. p.135-166.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C. KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SCHUMACHER, M. V.; COPETI, L.; VOGEL, H. L. M. Quantificação dos nutrientes no solo e serapilheira de uma floresta de *Pinus taeda* L. aos 18 anos de idade, na região de Cambará do Sul – RS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25. 2002, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: FERTBIO 2002: agricultura: bases ecológicas para o desenvolvimento social e econômico sustentado, 2002.

SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M.; WITSCHORECK, R. Produção de serapilheira e transferência de nutrientes em área de segunda rotação com floresta de *Pinus taeda* L. no município de Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, v.18, n.4, p.471-480, 2008.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 4, p. 29-39. 2007

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

SILVA, H. D. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex-Maiden) em diferentes idades**. Curitiba, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SIXEL, R. M. M. **Sustentabilidade da produtividade de madeira de *Pinus taeda* com base no estoque, na exportação e na ciclagem de nutrientes**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5)

VIEIRA M., SCHUMACHER M. V. Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 4, p. 375-382, 2009.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Variação mensal da deposição de serapilheira em povoamento de *Pinus taeda* L. em área de campo nativo em Cambará do Sul - RS. **Revista Árvore**, v. 34, n. 3, p. 487-494, 2010.

CAPÍTULO 3. AVALIAÇÃO NUTRICIONAL PELO DRIS EM PovoAMENTOS DE *Pinus taeda* COM DIFERENTES IDADES NO PLANALTO CATARINENSE

RESUMO

A análise do tecido é uma ferramenta útil para o manejo da nutrição vegetal e dentre os métodos de interpretação dos seus resultados, destaca-se o DRIS, baseado nas relações entre os nutrientes. O conhecimento dos valores de referência desse método pode ser subsídio importante para a tomada de decisão visando o aumento da produtividade do *Pinus*. Com o objetivo de avaliar o efeito da adubação com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), sobre o estado nutricional do *Pinus taeda* em diferentes fases de crescimento, por meio de índices do sistema DRIS, foi instalado experimento a campo em povoamentos submetidos à fertilização aos um, cinco e nove anos de idade, todos de segunda rotação, sobre Cambissolos no município de Otacílio Costa/SC. Os tratamentos consistiram em doses de nitrogênio (N0=0, N1=70 e N2=140 kg ha⁻¹), de fósforo (P0=0, P1=75 e P2=150 kg ha⁻¹) e de potássio (K0=0, K1=60 e K2=120 kg ha⁻¹), além de uma testemunha, nas seguintes combinações: N0P0K0, N0P1K0, N1P1K1, N1P2K1, N1P2K2 e N2P2K1. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições. Foram determinados os teores de N, P, K, Ca e Mg nas acículas e calculados as relações entre os mesmos e os índices DRIS primários. Após quatro anos da aplicação dos fertilizantes não se constatou incrementos nos teores da maioria dos nutrientes nas acículas em resposta à sua aplicação no solo. Pelo diagnóstico através do DRIS, as ordens de limitação nutricional nos povoamentos de cinco, nove e treze anos foram, respectivamente: N>P>Ca>K>Mg, N>K>Ca>Mg>P e N>P>K>Mg>Ca.

Palavras-chave: Macronutrientes. Épocas de fertilização. Diagnose foliar.

1 INTRODUÇÃO

As espécies do gênero *Pinus* apresentam uma excepcional capacidade de utilização dos recursos nutricionais em solos de baixa fertilidade, com rápido crescimento, sem apresentar sintomas visuais de deficiência, dando a falsa expectativa de que nos plantios não seriam necessários grandes cuidados com a fertilização (REISSMANN; WISNIEWSKI, 2000). Entretanto, diversos estudos têm relatado ganho de produtividade pela fertilização de povoamentos de *Pinus taeda* tanto no plantio, quanto nos já estabelecidos, especialmente

quando essa prática supre nutrientes que se encontram em baixa disponibilidade no solo refletindo em déficit nutricional (FERNÁNDEZ et al., 1999; FERREIRA et al., 2004; KYLE et al., 2005; VOGEL et al., 2005; WILL et al., 2006; ALBAUGH; ALLEN; FOX, 2008; SIMONETE et al., 2011; FAUSTINO et al., 2013; PERUCIO, 2015).

A análise química foliar é reconhecidamente uma ferramenta de grande importância no conhecimento do estado nutricional de plantas, pois a folha recém-madura é o órgão que, como regra geral, responde melhor às variações no suprimento do nutriente, seja pelo solo, seja pela adubação (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), possibilitando verificar a ocorrência de deficiências, toxidez ou desequilíbrio de nutrientes.

Os níveis críticos de teor de nutrientes nas plantas são valores padrões estabelecidos para as espécies vegetais, abaixo dos quais a produção é limitada e acima dos quais o uso de fertilizantes não é mais econômico, ou seja, a resposta da planta à aplicação de um fertilizante será maior quando os teores de nutrientes estão abaixo do nível crítico, e a resposta será muito baixa quando os teores estiverem acima do nível crítico. Já na faixa de suficiência o resultado da análise foliar é comparado com as concentrações de nutrientes, divididas em faixas de insuficiência, adequada ou tóxica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

A adoção de faixas de suficiência na interpretação do teor de nutriente na planta melhora a flexibilidade na diagnose, principalmente quando os limites das faixas são muito amplos. Estes dois métodos são os mais utilizados, tendo como a vantagem simplicidade na interpretação da diagnose do estado nutricional da cultura, pela forma independente com que os índices são definidos, isto é, o nível de um nutriente não afeta a classificação de outro. Porém, isso é uma desvantagem no sentido de que os nutrientes estão sendo interpretados individualmente, não sendo consideradas as interações entre eles, ou seja, o equilíbrio nutricional, e a nutrição adequada da planta não é dada apenas pelos teores individuais de cada nutriente, mas também, pela relação entre eles (FAQUN, 2007).

A utilização de métodos eficientes de diagnóstico do estado nutricional pode proporcionar uma melhor previsão dos elementos que necessitam ser corrigidos ou adicionados ao solo. Assim, o diagnóstico do estado nutricional de povoamentos de *Pinus taeda* através do estudo das relações duais entre os nutrientes pelo método DRIS (“Diagnosis and Recommendation Integrated System”) possibilita a identificação do grau de carência específica de cada nutriente, possibilitando obter diagnóstico mais acurado o estado nutricional das plantas e, consequentemente, maior eficiência e economia à adubação (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Beaufils (1973) desenvolveu o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação – DRIS, que propõe avaliar a produtividade da planta como resposta ao seu estado nutricional, através do conhecimento dos teores de nutrientes e das relações entre esses em amostras foliares de populações de plantas com diferentes níveis de produtividade. Por ser um sistema integrado revela uma maior constância das relações de nutrientes, do que a interpretação em separado para cada um dos teores de nutrientes.

O sistema DRIS gera índices que identificam a adequação do teor de cada nutriente em relação a todos os demais, o que possibilita o diagnóstico do equilíbrio nutritivo mais adequado, para a produção ótima (BEVERLY, 1991). Apesar do DRIS ser aplicado para cultivos agrícolas, não tem sido utilizado com a mesma intensidade para plantios de florestas (ROMANYA; VALLEJO, 1996), havendo poucas informações disponíveis.

Em 1990 Needham, Burger e Oderwald. já haviam proposto para *Pinus taeda* o uso do DRIS para a determinação do nível crítico dos nutrientes. Entretanto, os valores de referência devem ser estabelecidos em experimentos de calibração, em que as características genéticas, ambientais e as interações entre os nutrientes sejam as mesmas (BHARGAVA; CHADHA, 1988). Logo, os resultados obtidos são válidos somente para povoamentos sob as mesmas condições existentes nos locais dos experimentos, o que torna o processo restritivo para uso em larga escala, ou seja, são necessários experimentos e estudo específicos para cada região.

Este trabalho teve como objetivo a avaliação dos teores de N, P, K, Ca e Mg nas acículas de *Pinus taeda*, em três povoamentos de diferentes idades, quatro anos após aplicação de tratamentos com diferentes adubações N, P e K, bem como realizar a avaliação nutricional pelo Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação – DRIS destes povoamentos, a partir da relação entre os teores dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg nas acículas das árvores de diferentes classes produtivas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas em experimento instalado em três povoamentos de *Pinus taeda* L., com um, cinco e nove anos de idade, implantados em 2009, 2005 e 2001, respectivamente, em áreas da empresa Klabin S/A, no município de Otacílio Costa/SC. O povoamento com um ano encontra-se na Fazenda Bom Retiro, enquanto os povoamentos com cinco e nove anos, na Fazenda Cervo, com as respectivas coordenadas geográficas: 50°7'19,465"W e 27°22'23,29"S; 50°4'46,534"W e 27°27'23,567"S; e 50°5'36,949"W e 27°27'12,515"S. O clima da região é mesotérmico úmido com verão ameno, Cfb, segundo a

classificação de Köppen. A altitude é de 884 m, a temperatura média anual é de 15,9 °C e a precipitação média anual entre 1.300 e 1.400 mm, bem distribuída ao longo do ano (OTACÍLIO COSTA, 2016).

No povoamento com um ano, o solo é um Cambissolo Háplico, e nos povoamentos com cinco e nove anos, o solo é um Cambissolo Húmico, cujas principais características são apresentadas na Tabela 14. As áreas experimentais encontram-se no segundo ciclo de povoamento, cujo ciclo anterior também era de *Pinus taeda* L., e nunca tinham recebido adubação antes da aplicação dos tratamentos. Todos os plantios foram efetuados após o preparo do solo com subsolagem, utilizando trator de esteira, a uma profundidade em torno de 45 cm, e em espaçamento de 2,5 m entre plantas e 2,5 m entre linhas.

Tabela 14 - Atributos dos solos nas áreas experimentais das florestas de *Pinus taeda*, localizadas em Otacílio Costa/SC⁽¹⁾

Camada	pH _{água}	Argila	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC _{pH7}	m ⁽²⁾
cm		— % —		— mg dm ⁻³ —				cmol _c dm ⁻³			%
Cambissolo Háplico (1 Ano)											
0 – 20	4,1	26,3	5,8	5,1	72,2	0,2	0,2	10,0	38,4	39,0	94,4
20 – 40	4,2	25,3	3,7	2,1	37,7	0,1	0,1	8,9	33,9	34,2	96,3
Cambissolo Húmico (5 Anos)											
0 – 20	4,0	24,2	6,2	5,0	65,1	0,3	0,3	10,9	41,8	42,5	93,4
20 – 40	4,2	37,2	4,3	2,5	47,7	0,2	0,2	10,7	37,8	38,4	94,6
Cambissolo Húmico (9 Anos)											
0 – 20	4,1	19,2	5,6	4,3	29,6	0,2	0,1	6,9	33,9	34,2	94,9
20 – 40	4,2	29,2	4,1	1,9	16,8	0,2	0,1	6,0	31,0	31,3	95,0

⁽¹⁾ Análises de solo realizadas segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). ⁽²⁾ Saturação por alumínio na CTC_{efetiva}.

Em cada uma das idades foram aplicados os tratamentos que consistiram da aplicação de doses de nitrogênio: N0=0, N1=70 e N2=140 kg ha⁻¹ de N; de fósforo: P0=0, P1=75 e P2=150 kg ha⁻¹ de P₂O₅; de potássio: K0=0, K1=60 e K2=120 kg ha⁻¹ de K₂O; nas seguintes combinações: N0P0K0, N0P1K0, N1P1K1, N1P2K1, N1P2K2, N2P2K1. Como fontes dos nutrientes foram empregados a ureia (45 % de N), o superfosfato triplo (41 % de P₂O₅) e o cloreto de potássio (58 % de K₂O).

Assim foram aplicadas as seguintes quantidades de adubo em cada tratamento: 0 N0P0K0=sem aplicação de adubos; N0P1K0=9 kg parcela⁻¹ de SFT; N1P1K1=7,8 kg parcela⁻¹ de ureia, 9 kg parcela⁻¹ de SFT, e 5,2 kg parcela⁻¹ de KCl; N1P2K1=7,8 kg parcela⁻¹ de ureia, 18 kg parcela⁻¹ de SFT, e 5,2 kg parcela⁻¹ de KCl; N1P2K2=7,8 kg parcela⁻¹ de ureia, 18 kg parcela⁻¹ de SFT, e 10,3 kg parcela⁻¹ de KCl; N2P2K1=15,4 kg parcela⁻¹ de ureia, 18 kg parcela⁻¹ de SFT, e 5,2 kg parcela⁻¹ de KCl.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com três repetições, sendo as unidades experimentais constituídas por parcelas contendo 80 plantas (8 linhas x 10 plantas), das quais somente as 24 plantas centrais (4 linhas x 6 plantas) para coletas de acículas.

A aplicação dos tratamentos foi realizada com a adição dos fertilizantes manualmente a lanço e em área total nos três povoamentos em dezembro de 2010.

Para a avaliação dos teores de N, P, K, Ca e Mg da parte aérea das árvores, em dezembro de 2014 foi realizada a coleta de acículas, retirando-se três fascículos de cada ponto cardeal no terço superior da copa, no antepenúltimo lançamento de folhas dos galhos. As amostras, após serem secas em estufa de circulação de ar forçada a 60 °C, por 48 h, foram moídas e submetidas à análise química segundo Tedesco et al. (1995).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Havendo significância, para avaliação de efeitos individuais entre tratamentos, o Teste de Scott-Knott a 5 % de significância, com o programa estatístico ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2002).

De posse dos teores dos nutrientes nas acículas foi feita separação das subpopulações de baixa e de alta produtividade com base nos dados de IMA em volume ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$). A separação entre os dois grupos foi definida pelo valor referente a 80 % da produtividade máxima, assim, as parcelas com produtividade menor que esse valor foram consideradas como população de baixa produtividade, e as restantes a população de alta produtividade. Salienta-se que o método DRIS considera que os indivíduos de maior rendimento têm menos fatores limitantes, possibilitando nutrição mais equilibrada que maximiza o crescimento (SYPERT, 2006). Os dados foram submetidos ao teste de Normalidade (Shapiro-Wilk (W)); cálculo do número de casos possíveis para as relações entre os nutrientes; cálculo das estatísticas: média, variância e coeficiente de variação das relações de para cada uma das subpopulações; e, cálculo dos índices DRIS utilizando a fórmula de Jones (1981) a seguir:

$$f(X/Y) = [(R - r)/s]$$

Em que: R = valor da relação X/Y entre as concentrações dos nutrientes X e Y , nas acículas; r = valor médio das relações X/Y da população de referência (norma média); s = desvio-padrão das relações X/Y da população de referência (norma desvio-padrão) e $f(X/Y)$ = função da relação X/Y . X e Y = concentração dos macronutrientes, sendo “ X ” e “ Y ” a concentração de dois quaisquer nutrientes, desde que os nutrientes “ X ” e “ Y ” sejam distintos entre si.

A interpretação dos resultados de análise foi realizada comparando relações entre dois nutrientes com uma referência-padrão e reunindo os desvios encontrados para cada nutriente nas suas relações com os demais. Quando um nutriente está deficiente, sua relação com os demais exibe um desvio negativo, e quando em excesso, o desvio é positivo, e os valores de todos os desvios para cada nutriente, ao serem somados, formaram o Índice DRIS de cada nutriente. Um nutriente menos deficiente exibe valores menos negativos, e assim consecutivamente, havendo, para contrabalançar, valores positivos para outros nutrientes.

Somando todos os Índices dos nutrientes, sem considerar se o seu sinal foi negativo ou positivo, obteve-se o Índice de Balanço Nutricional (IBN). Quanto menor o IBN, mais equilibrada ou ajustada a planta e, deste modo, com maior potencial de produção. Quanto maior o IBN, maior o desequilíbrio e, consequentemente, maior a probabilidade de estarem acontecendo deficiências ou excessos de nutrientes. Os nutrientes puderam ser ordenados em escala progressiva desde o mais deficiente (mais negativo) até o mais excessivo, em termos relativos, que apresenta maior valor positivo.

Após a obtenção da ordem de limitação, os índices DRIS foram interpretados pelo método do Potencial de Resposta a Adubação (PRA) proposto por Wadt (1996). Por esse método compara-se o módulo do índice DRIS de cada nutriente (INut) com o valor do índice de equilíbrio nutricional médio (IBNm), para verificar se o desequilíbrio atribuído a determinado nutriente é maior ou menor que o desequilíbrio atribuído à média de todos os nutrientes (Tabela 15).

Tabela 15 - Critérios para a interpretação dos valores dos índices DRIS com base no método do potencial de resposta à adubação (Wadt, 1996)

Estado nutricional	Potencial de resposta à adubação	Critério
Deficiente e limitante	Positiva, com alta probabilidade	1. $I_{Nut} < 0^{(1)}$ 2. $ I_{Nut} > IBNm$ 3. I_{Nut} é o índice DRIS de menor valor
Provavelmente deficiente	Positiva, com baixa probabilidade	1. $I_{Nut} < 0$ 2. $ I_{Nut} > IBNm$
Equilibrado	Nula	1. $ I_{Nut} \leq IBNm$
Provavelmente em excesso	Negativa, com baixa probabilidade	1. $I_{Nut} > 0$ 2. $ I_{Nut} > IBNm$
Em excesso	Negativa, com alta probabilidade	1. $I_{Nut} > 0$ 2. $ I_{Nut} > IBNm$ 3. I_{Nut} é o índice DRIS de maior valor

⁽¹⁾ I_{Nut} = índice DRIS do nutriente e $IBNm$ = índice de balanço nutricional médio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TEORES FOLIARES DE N, P, K, CA E MG

Em geral, não houve efeito significativo da aplicação dos tratamentos nos teores de N, P, K, Ca e Mg das acículas dos povoamentos adubados aos um, cinco e nove anos que se encontravam com cinco, nove e treze anos de idade, respectivamente (Tabela 17).

As faixas de suficiência para N, P, K, Ca e Mg nas acículas de *Pinus taeda* sugeridas pela CQFSRS/SC (2016), Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), e por Gonçalves (1995) são apresentadas na Tabela 16. Os teores (Tabela 17) de N e P observados em todos os povoamentos avaliados situaram-se acima destas faixas de suficiência, porém, os teores de K, Ca e Mg situaram-se abaixo.

A ausência de diferença estatística entre os tratamentos observadas para a maioria dos nutrientes e idades avaliadas, pode ser explicada principalmente porque os elementos os seus teores foliares são afetados por efeitos de diluição e translocação e, desta maneira podem levar à interpretações errôneas.

Tabela 16 - Faixas de suficiência para teores de N, P, K, Ca e Mg em acículas de *Pinus taeda*, segundo Gonçalves (1995), Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) e CQFSRS/SC (2016)

Macronutriente	Faixa de Suficiência		
	%		
	Gonçalves (1995)	Malavolta, Vitti e Oliveira (1997)	CQFSRS/SC (2016)
N	1,10 - 1,60	1,20 - 1,30	1,10 - 1,30
P	0,08 - 0,14	0,14 - 0,16	0,10 - 0,12
K	0,60 - 1,00	1,00 - 1,10	0,60 - 1,00
Ca	0,30 - 0,50	0,30 - 0,50	0,20 - 0,50
Mg	0,13 - 0,20	0,15 - 0,20	0,10 - 0,20

Tabela 17 - Teores médios de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas acículas em florestas de *Pinus taeda* com cinco, nove e treze anos de idade, adubados com um, cinco e nove anos respectivamente, localizadas em Otacílio Costa/SC

Tratamento ⁽²⁾	N	P	K	Ca	Mg
	%				
Pinus de 5 Anos⁽¹⁾					
N0P0K0	1,47 ns	0,32 ns	0,37 b	0,13 c	0,06 ns
N0P1K0	1,64	0,38	0,34 b	0,17 b	0,07
N1P1K1	1,70	0,36	0,35 b	0,16 b	0,06
N1P2K1	1,57	0,36	0,39 b	0,21 a	0,09
N1P2K2	1,61	0,35	0,44 a	0,20 a	0,08
N2P2K1	1,49	0,39	0,34 b	0,22 a	0,06
CV (%)	15,7	12,35	6,99	5,01	17,03
Pinus de 9 Anos					
N0P0K0	1,94 ns	0,39 ns	0,49 ns	0,11 b	0,06 ns
N0P1K0	1,86	0,43	0,57	0,12 b	0,06
N1P1K1	1,84	0,36	0,50	0,12 b	0,06
N1P2K1	1,91	0,37	0,49	0,21 a	0,07
N1P2K2	1,92	0,39	0,47	0,20 a	0,07
N2P2K1	1,71	0,40	0,45	0,15 a	0,07
CV (%)	5,23	15,76	13,46	27,18	25,5
Pinus de 13 Anos					
N0P0K0	1,76 ns	0,37 ns	0,51 ns	0,04 ns	0,08 ns
N0P1K0	1,63	0,41	0,50	0,04	0,07
N1P1K1	1,88	0,44	0,62	0,06	0,06
N1P2K1	1,78	0,35	0,51	0,10	0,07
N1P2K2	1,78	0,41	0,55	0,07	0,05
N2P2K1	1,81	0,40	0,50	0,03	0,07
CV (%)	6,59	11,70	12,39	43,93	12,54

⁽¹⁾ Período de adubação. ⁽²⁾ N0P0K0 = 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O; N0P1K0 = 0, 75 e 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P1K1 = 70, 75 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K1 = 70, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K2 = 70, 150 e 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N2P2K1 = 140, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra em cada coluna não diferem pelo teste Scott-Knott a 5 % de significância. ^{ns} Os tratamentos não foram significativos pelo teste F.

O efeito de diluição é caracterizado quando a taxa de crescimento relativo de matéria seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente (CARMO et al. 2011). Fato que pode estar ocorrendo neste estudo, uma vez que as acículas foram coletadas no período de maior crescimento no ano (dezembro de 2014). Já o efeito da translocação é a retranslocação do nutriente das folhas mais velhas para as partes mais novas das plantas, que passa a se comportar como dreno (MENDES et al., 2012), o que contribui para a diminuição dos teores de alguns nutrientes móveis na planta, como o nitrogênio e o potássio.

A ausência de alteração no teor foliar de N e P em povoamento de *Pinus taeda* com um ano e oito meses, cultivado num Argissolo Vermelho em Montecarlo, Misiones/Argentina, fertilizado com 46 e 96 g planta⁻¹ de N e P₂O₅, respectivamente, também foi constatada por Faustino et al. (2013).

3.2 AVALIAÇÃO NUTRICIONAL PELO SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO (DRIS)

A partir das relações entre os teores dos nutrientes nas acículas foram determinados os índices DRIS para N, P, K, Ca e Mg em *Pinus taeda*, obtendo-se a respectiva ordem de limitação em todos os tratamentos e idades avaliadas (Tabela 18).

A ordem de limitação foi definida de forma que, quanto mais negativo for o índice DRIS, mais limitante é o nutriente. Deste modo, observou-se que o N ocorreu como mais limitante em todos os tratamentos e idades.

Contudo, Motta et al. (2014) relatam que o *Pinus* não tem apresentado sintomas de carência de N desde que ocorra a manutenção das acículas que caem formando a serapilheira na superfície do solo. Quando isso ocorre, é provável que possa estar ocorrendo ciclagem e manutenção de N no sistema.

No povoamento de cinco anos (adubado com um ano), o segundo nutriente mais limitante, na maioria dos tratamentos foi o P, seguido do Ca, depois K e o menos limitante foi o Mg. No povoamento de nove anos (adubado com cinco anos), o segundo nutriente mais limitante em todos os tratamentos foi o K, seguido do Ca, depois Mg e o menos limitante foi o P. Já no povoamento de treze anos (adubado com nove anos), o segundo nutriente mais limitante, na maioria dos tratamentos também foi o P, seguido do K, depois Mg e o menos limitante foi o Ca.

Tabela 18 – Valores calculados de índices DRIS, com a ordem de limitação dos nutrientes N, P, K, Ca e Mg nas acículas de *Pinus taeda*, com idades de cinco, nove e treze anos, adubados com diferentes combinações de doses de N, P e K aos um, cinco e nove anos respectivamente, em Otacílio Costa/SC

Tratamento	IN	IP	IK	ICa	IMg	IBN	Limitação
Pinus de 5 Anos							
N0P0K0 ⁽¹⁾	-33,9	-1,1	3,1	-0,6	32,5	71	N>P>Ca>K>Mg
N0P1K0	-37,7	1,1	-1,4	-0,2	38,3	79	N>K>Ca>P>Mg
N1P1K1	-36,6	-0,1	0,5	-0,4	36,6	74	N>Ca>P>K>Mg
N1P2K1	-52,2	-0,3	-0,1	0,4	52,2	105	N>P>K>Ca>Mg
N1P2K2	-51,0	-1,7	3,2	0,2	49,3	105	N>P>Ca>K>Mg
N2P2K1	-51,1	2,1	0,0	0,7	48,4	102	N>K>Ca>P>Mg
	Deficiente	Equilibrado	Equilibrado	Equilibrado	Equilibrado		
Pinus de 9 Anos							
N0P0K0	-276,8	177,4	18,7	37,8	43,0	554	N>K>Ca>Mg>P
N0P1K0	-254,4	152,8	20,1	40,0	41,6	501	N>K>Ca>Mg>P
N1P1K1	-295,3	181,4	19,8	42,0	52,0	591	N>K>Ca>Mg>P
N1P2K1	-337,0	183,8	18,5	39,9	94,8	674	N>K>Ca>Mg>P
N1P2K2	-314,5	175,9	17,3	36,1	85,2	629	N>K>Ca>Mg>P
N2P2K1	-263,3	152,7	16,3	33,6	60,8	527	N>K>Ca>Mg>P
	Deficiente	Excesso	Equilibrado	Equilibrado	Equilibrado		
Pinus de 13 Anos							
N0P0K0	-79,1	-6,1	1,6	76,2	7,4	170	N>P>K>Mg>Ca
N0P1K0	-71,3	0,7	-1,1	67,3	4,4	145	N>K>P>Mg>Ca
N1P1K1	-79,1	-1,6	3,0	77,9	-0,1	162	N>P>Mg>K>Ca
N1P2K1	-81,4	-7,2	3,0	80,6	5,1	177	N>P>K>Mg>Ca
N1P2K2	-73,7	0,4	1,3	74,1	-2,1	152	N>Mg>P>K>Ca
N2P2K1	-70,3	-1,1	-1,1	69,0	3,6	145	N>P>K>Mg>Ca
	Deficiente	Equilibrado	Equilibrado	Equilibrado	Equilibrado		

⁽¹⁾ N0P0K0 = 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O; N0P1K0 = 0, 75 e 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P1K1 = 70, 75 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K1 = 70, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K2 = 70, 150 e 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N2P2K1 = 140, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente.

Vogel (2002) avaliando diferentes doses de N, P₂O₅ e K₂O em povoamentos de *Pinus taeda* sob um Cambissolo Húmico alumínico típico em Cambará do Sul/RS, 19 meses após a aplicação dos tratamentos em geral encontrou a seguinte ordem de limitação: N>Ca>Mg>K>P.

Com a finalidade de identificar os nutrientes que são os geradores do desequilíbrio, os índices DRIS foram interpretados pelo método do Potencial de Resposta à Adubação (PRA), conforme critérios descritos por Wadt (1996) (Tabela 15). Assim, observa-se na Tabela 19 os resultados do PRA, para os índices IN, IP, IK, ICa e IMg em relação a todos os tratamentos.

A análise, pelo potencial de resposta à adubação (PRA), apontou como mais positiva a adubação de N em todas as idades avaliadas. Para os demais nutrientes o comportamento variou conforme a idade avaliada, mas de maneira geral, nenhum outro apresenta potencial positivo de resposta à adubação, sendo que o Mg, P, e Ca respectivamente aos cinco, nove e treze anos de idade apresentam potencial negativo.

Tabela 19 - Potencial de Resposta à Adubação (PRA) em relação aos tratamentos de adubação com diferentes combinações de doses de N, P e K em povoamentos de *Pinus taeda* com diferentes idades em Otacílio Costa/SC

Tratamento	PRA				
	N	P	K	Ca	Mg
	Pinus de 5 Anos				
N0P0K0 ⁽¹⁾	Positiva, com alta probabilidade	Nula	Nula	Nula	Negativa, com alta probabilidade
N0P1K0	Positiva, com alta probabilidade	Nula	Nula	Nula	Negativa, com alta probabilidade
N1P1K1	Positiva, com alta probabilidade	Nula	Nula	Nula	Negativa, com alta probabilidade
N1P2K1	Positiva, com alta probabilidade	Nula	Nula	Nula	Negativa, com alta probabilidade
N1P2K2	Positiva com alta probabilidade	Nula	Nula	Nula	Negativa, com alta probabilidade
N2P2K1	Positiva, com alta probabilidade	Nula	Nula	Nula	Negativa, com alta probabilidade
Pinus de 9 Anos					
N0P0K0	Positiva, com alta probabilidade	Negativa, com alta probabilidade	Nula	Nula	Nula
N0P1K0	Positiva, com alta probabilidade	Negativa, com alta probabilidade	Nula	Nula	Nula
N1P1K1	Positiva, com alta probabilidade	Negativa, com alta probabilidade	Nula	Nula	Nula
N1P2K1	Positiva, com alta probabilidade	Negativa, com alta probabilidade	Nula	Nula	Nula
N1P2K2	Positiva com alta probabilidade	Negativa, com alta probabilidade	Nula	Nula	Nula
N2P2K1	Positiva, com alta probabilidade	Negativa, com alta probabilidade	Nula	Nula	Nula

Pinus de 13 Anos					
N0P0K0	Positiva, com alta probabilidade	Nula	Nula	Negativa, com alta probabilidade	Nula
N0P1K0	Positiva, com alta probabilidade	Nula	Nula	Negativa, com alta probabilidade	Nula
N1P1K1	Positiva, com alta probabilidade	Nula	Nula	Negativa, com alta probabilidade	Nula
N1P2K1	Positiva, com alta probabilidade	Nula	Nula	Negativa, com alta probabilidade	Nula
N1P2K2	Positiva, com alta probabilidade	Nula	Nula	Negativa, com alta probabilidade	Nula
N2P2K1	Positiva, com alta probabilidade	Nula	Nula	Negativa, com alta probabilidade	Nula

⁽¹⁾ N0P0K0 = 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O; N0P1K0 = 0, 75 e 0 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P1K1 = 70, 75 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K1 = 70, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N1P2K2 = 70, 150 e 120 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente; N2P2K1 = 140, 150 e 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente.

Vogel (2002) encontrou resultado semelhante para o N avaliando *Pinus taeda* com 19 meses. Já Wadt et al. (1998), com híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, cultivados no Espírito Santo e Sul da Bahia, verificou o N como equilibrado e com nenhum potencial de resposta à adubação.

Levando em consideração que os teores de N nos três povoamentos estão dentro ou acima da faixa de suficiência para a espécie, no DRIS ele pode estar como deficiente, pelo fato de que a dependência entre os índices permite que o teor de um nutriente, quando muito elevado, influencie negativamente o valor dos índices de outros nutrientes (FACHIN, 2007). Ainda é importante salientar que uma simples relação de equilíbrio entre nutrientes pode não ter uma relação direta com a produtividade das culturas, tendo-se em vista que outros fatores limitantes de natureza não nutricional podem estar afetando o desenvolvimento das plantas.

Além disso, os teores de nutrientes das folhas nem sempre refletem o estado nutricional das plantas, pois o teor de nutrientes no tecido vegetal é resultante da combinação de vários fatores, como a disponibilidade de nutrientes no solo, a absorção pela planta, a redistribuição e o crescimento. Em razão disto, se o crescimento aumenta mais que a absorção, o resultado será teores mais baixos, que é conhecido como efeito de diluição.

Deste modo, é interessante a utilização conjunta de diversos métodos de diagnóstico, apesar de sua complexidade, talvez seja a melhor maneira de prever os elementos químicos que necessitam serem corrigidos, pois com os níveis críticos, ou faixas de suficiência, é possível

apenas observar se os níveis estão dentro dos considerados normais para a cultura, já a utilização de métodos diagnósticos, como o DRIS, revela com mais detalhes como está se comportando cada nutriente.

Ainda é aconselhável a utilização de outros métodos, e compará-los, pois o método DRIS (BEAUFILS, 1973) é um método de diagnóstico bivariado, é baseado na comparação de relações duplas (N/P, N/K, N/Ca, etc.), em amostras com valores padrão ou normativos. Já o método M-DRIS (HALLMARK et al., 1987), apesar de também ser um método de diagnóstico bivariado, ele considera o conteúdo de nutrientes, e não apenas suas relações duais. O método CND (PARENT; DAFIR, 1992) se destaca como método multivariável, baseia-se em estudos desenvolvidos por Aitchison (1982), que envolvem análise estatística de dados de composição, com base no estabelecimento de variáveis multinutrientes, pesadas pela média geométrica da composição nutricional. Podendo estes outros métodos fornecerem interpretações mais precisas do estado nutricional das plantas.

4 CONCLUSÕES

A adubação de povoamentos de *Pinus taeda* aos um, cinco e nove anos de idade, sobre Cambissolo na região do Planalto Sul Catarinense, com doses de até 140 kg ha⁻¹ de N; 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅; e, 120 kg ha⁻¹ de K₂O, em diferentes combinações, em geral não afeta os teores de macronutrientes nas acículas após quatro anos da sua aplicação.

O N foi o nutriente mais limitante ao crescimento em todas as idades, pela avaliação nutricional pelo DRIS, as ordens de limitação nos povoamentos de cinco, nove e treze anos foram, respectivamente: N>P>Ca>K>Mg, N>K>Ca>Mg>P e N>P>K>Mg>Ca.

A identificação das deficiências nutricionais por métodos químicos pode ser útil devido à sua rapidez e simplicidade de determinação, porém, deve-se considerar ainda as interações entre os nutrientes e os demais fatores de crescimento das plantas.

REFERÊNCIAS

- AITCHISON, J. The statistical analysis of compositional data. *Journal of the Royal Statistical Society. Journal of the Royal Statistical Society. Series B*, v.44, n. 2, p.139-177, 1982.
- ALBAUGH, T. J., ALLEN, H. L.; FOX, T. R. Nutrient use and uptake in *Pinus taeda*. *Tree Physiology*, v. 28, p. 1083-1098, 2008.
- BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plant nutrition.** Pietermaritzburg: University of Natal, 1973. 132 p. (Soil Science Bulletin, n. 1).
- BEVERLY, R. B. **A practical guide to the diagnosis and recommendation integrated system.** Athens: Micro-Macro Publishing, 1991. 385 p.
- BHARGAVA, B. S.; CHADHA, K. L. Leaf nutrient guide for fruit and plantation crops. *Fertiliser News*, v.33, n.7, p. 21-29, 1988.
- CARMO, G. A. et al. Teores foliares, acúmulo e partição de macronutrientes na cultura da abóbora irrigada com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p. 512–518, 2011.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de calagem e adubação para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, UFRGS, 2016. 376 p.
- FAUSTINO, L. I. et al. Dry weight partitioning and hydraulic traits in young *Pinus taeda* trees fertilized with nitrogen and phosphorus in a subtropical area. *Tree Physiology*, v. 33, n. 3, p. 241-251, 2013.
- FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 77 p.
- FERNÁNDEZ, R. et al. Efectos de diferentes prácticas de preparación del terreno y fertilización sobre el crecimiento inicial del *Pinus* spp en el NE argentino. *Bosque*, v. 20, n. 1, p. 47-52, 1999.
- FERREIRA, C. A. et al. Pesquisas sobre nutrição de *Pinus* no sul do Brasil. *Revista da Madeira*, n. 63, ano 14, p. 72-78, 2004. Edição Especial.
- GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. *Documentos Florestais*, v. 15, p. 1-23, 1995.
- HALLMARK, W. B. et al. Separating limiting and non-limiting nutrients. *Journal of Plant Nutrition*, v. 10, p. 1381-1390, 1987.

JONES, C. A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for interpreting plant analyses **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 12, n. 8, p. 785-794, 1981.

KYLE, K. H. et al. Long-term effects of drainage, bedding, and fertilization on growth of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in the coastal plain of Virginia. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 29, n. 4, p. 205-214, 2005.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAPOS, 1997. 319 p.

MENDES, A. D. R. et al. Concentração e redistribuição de nutrientes minerais nos diferentes estádios foliares de seringueira. **Acta Amazonica**, v. 42, p. 525-532, 2012.

MOTTA, A. C. V. et al. Nutrição e adubação da cultura de *Pinus*. In: PRADO, R. M. et al. (Org.). **Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras**. Jaboticabal: FUNEP, 2014, v. 15, p. 383-426.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v. 27, p. 31-36, 1962.

NEEDHAM, T. D.; BURGER, J. A.; ODERWALD, R. G. Relationship between Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) optima and foliar nutrient critical levels. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, n. 3, p. 883-886, 1990.

OTACÍLIO COSTA. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Otac%C3%ADlio_Costa>. Acesso em 07 abr. 2016.

PARENT, L. E.; DAFIR, M. A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.117, n. 2, p. 239-242, 1992.

PERUCIO, F. M. **Análise econômica da adubação e calagem do *Pinus taeda* na região de Arapoti – Paraná – Brasil**. 2015. Monografia (Pós Graduação em Gestão Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETTI, V. (Org.). **Nutrição e fertilização florestal**. 2. ed. Piracicaba: IPEF, 2005. p. 135-166.

ROMANYA, J.; VALLEJO, V. R. Nutritional status and deficiency diagnosis of *Pinus radiata* plantations in Spain. **Forest science**, v. 42, n. 2, p.192-197, 1996.

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

SILVA, H. D. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex-Maiden) em diferentes idades**. Curitiba, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SIMONETE, M. A. et al. Efeito da adubação de plantio em *Pinus taeda* L. aos cinco anos de idade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, 2011, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

SYPERT, R. H. **Diagnosis of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) nutrient deficiencies by foliar methods.** 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência da Silvicultura) - Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, 2006.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5)

VOGEL, H. L. M. **Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K, e sua diagnose nutricional pelos DRIS.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

VOGEL, H. L. M. et al. Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 2, p. 199-206, 2005.

WADT, P. G. S. **Os métodos da chance matemática e do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucaliptos.** 1996. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 1996.

WADT, P. G. S. et al. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvores de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 661-666, 1998.

WILL, R. E. et al. Nitrogen and phosphorus dynamics for 13-year-old loblolly pine stands receiving complete competition control and annual N fertilizer. **Forest Ecology and Management**, v. 227, n. 1, p. 155-168, 2006.

WISNIEWISKI, C; REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e nutrientes em plantios de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa, PR. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.39, n.2, p. 435-442, 1996.

CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Avaliando diversos aspectos da adubação de *Pinus taeda* cultivado em diferentes idades sobre Cambissolos do município de Otacílio Costa/SC, foi possível evidenciar incrementos na produtividade em volume de fuste, e a possibilidade de retorno econômico dessa prática. Fato atribuído principalmente à adição de P como nutriente responsável por ganhos expressivos, mesmo que de forma isolada, e ainda mais quando associado ao N e K, especialmente sendo aplicados na idade de nove anos.

Por outro lado, a avaliação nutricional pelo DRIS não parece demonstrar as condições nutricionais reais dos povoamentos, uma vez que o diagnóstico não teve relação com os ganhos em produtividade, pois apresenta o N como maior limitante, sendo que os tratamentos com maior dosagem de N não foram os que obtiveram maior incremento, e este está em quantidades adequadas nas acículas.

Quanto ao estudo da serapilheira, esta trouxe informações importantes a respeito da quantidade depositada e do aporte de nutrientes por esta, porém não refletiu resultados em função da aplicação da fertilização, algo que pode ser necessário mais anos de avaliação para que se possa observar.

Em função dos resultados obtidos considera-se de grande importância a continuidade dos estudos, com mensurações dendrométricas até a colheita final das árvores, acompanhadas da avaliação econômica dessa produção, bem como a avaliação da serapilheira, e teste de outros métodos de diagnóstico nutricional, como o M-DRIS e o CND.

Sugere-se novos estudos inerentes à qualidade da madeira, a fim de observar se este incremento em volume de madeira também traz consigo uma melhora nas características da madeira para fins de produção de celulose e papel.

Poucos estudos buscam entender os possíveis efeitos que a adubação mineral possa ter sobre a qualidade da madeira e para o seu uso futuro, mesmo sabendo que a aplicação desta prática resulta em ganhos significativos de produtividade de florestas de *Pinus*. Ainda se sabe muito pouco a respeito dos níveis das influências dessa técnica nas qualidades físicas, químicas e anatômicas da madeira e seus derivados.

Diante da importância das características da madeira durante a produção de polpa e papel, sugere-se a continuidade deste trabalho, com o objetivo adicional de se verificar a qualidade da madeira de acordo com as características físicas, químicas e anatômicas, de povoamentos de *Pinus* que receberam adubação aos um, cinco e nove anos de idade.