

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV**  
**PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL – MPV**

**GILMAR JOSÉ PICOLI JUNIOR**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA COMO ESTRATÉGIA PARA MINIMIZAR**  
**ESTRESSES OCASIONADOS PELA DESFOLHA E FITOTOXICIDADE FOLIAR**  
**EM MILHO (*ZEA MAYS* L.).**

**LAGES – SC**

**2011**

**GILMAR JOSÉ PICOLI JUNIOR**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA COMO ESTRATÉGIA PARA MINIMIZAR  
ESTRESSES OCACIONADOS PELA DESFOLHA E FITOTOXICIDADE FOLIAR  
EM MILHO (*ZEA MAYS L.*).**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientador: Prof. Ph.D. Luís Sangoi  
Co-orientadores: Prof. Dr. Ricardo Trezzi Casa  
Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni  
Prof. Ph.D. Paulo Régis Ferreira da Silva

**LAGES – SC**

**2011**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária  
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região  
(Biblioteca Setorial do CAV/UDESC)

Picoli Junior, Gilmar José

Adubação nitrogenada como estratégia para minimizar estresses ocasionados pela desfolha e fitotoxicidade foliar em milho (*Zea mays* L.). / Gilmar José Picoli Junior; orientador: Luís Sangoi. – Lages, 2011. 88f.

Inclui referências.

Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC.

1. *Zea mays*.
2. Nitrogênio.
3. Fitotoxicidade.
4. Área Foliar.
5. Rendimento de grãos. I. Título.

CDD – 634.15

**GILMAR JOSÉ PICOLI JUNIOR**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA COMO ESTRATÉGIA PARA MINIMIZAR  
ESTRESSES OCASIONADOS PELA DESFOLHA E NECROSE FOLIAR EM  
MILHO (*ZEA MAYS L.*).**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina

Aprovado em: 20/11/2011

Homologado em:

Pela Banca Examinadora:

Por:

---

Ph.D. Luís Sangoi  
Orientador - CAV/UDESC

---

Dr. Léo Rufatto  
Coordenador Técnico do Programa  
de Pós-graduação em Produção  
Vegetal e Coordenador do  
Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Agrárias

---

Dr. Ricardo Trezzi Casa  
CAV/UDESC

---

Dr. Cleimon Eduardo do Amaral  
Dias  
Diretor Geral do Centro de  
Ciências Agroveterinárias

---

Dr. Luciano Colpo Gatiboni  
CAV/UDESC

---

PhD. Paulo Régis Ferreira da Silva  
UFRGS/ Porto Alegre-RS

**Lages-SC, Setembro de 2011**

*Aos meus queridos pais Giomar e Dayse, pelo o  
amor incondicional e que apesar da distância,  
sempre estiveram ao meu lado.  
Ofereço e dedico.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre ao meu lado nessa importante caminhada.

Aos meus pais, pela dedicação incondicional à minha educação e por acreditarem que os meus sonhos são seus sonhos. Meus eternos agradecimentos.

Aos meus irmãos Andrei e Maria e cunhados Cesar e Elizabete pelo carinho, apoio e incentivo.

Ao meu orientador Luís Sangoi, “pai” científico, por ter me aceitado como orientado, pela paciência, amizade, pelo exemplo de profissionalismo e pelos enormes conhecimentos transmitidos. Muito obrigado!

Aos meus grandes companheiros de mestrado, Sérgio e Amauri, pelos conselhos e momentos de descontrações.

Ao colega Vitor, pela ajuda na condução do experimento e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos colegas da pós-graduação, Paula, Jeferson, Daniéli e Evandro, pelo companheirismo.

Aos meus amigos, Flaviane, Carolina, Daiana, Gisele, Tiago, Rodrigo, Fernando e Rosalvo, que, em algum momento desta caminhada, foram importantes para que eu chegasse até aqui.

A todos que colaboraram na realização do trabalho de campo, em especial ao Alexandre, Anderson, Thiago, Mariana, Rodolfo, Francisco, Giovane, Eduardo e Gustavo, pois, sem essa equipe não teríamos conseguido realizar o trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal.

À UDESC pelo ensino gratuito e de qualidade.

Ao CNPq (Editais 43/2008 – Agronegócio e 14/2009 – Universal) pelo apoio financeiro.

A todos que de alguma forma contribuíram para que esse sonho se tornasse realidade.

Muito obrigado!

## RESUMO

JUNIOR, Gilmar José Picoli. **ADUBAÇÃO NITROGENADA COMO ESTRATÉGIA PARA MINIMIZAR ESTRESSES OCASIONADOS PELA DESFOLHA E FITOTOXICIDADE FOLIAR EM MILHO**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Área: Fisiologia e Manejo de Plantas) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2011.

Apesar do elevado potencial produtivo, o milho apresenta acentuada sensibilidade a estresses de origem biótica e abiótica. A ocorrência de desfolhas causadas pelo ataque da lagarta-do-cartucho ou por queda de granizo e a ocorrência de fitotoxicidade ocasionada pelo contato físico entre os fertilizantes nitrogenados e as folhas podem reduzir o rendimento de grãos do milho. A busca de alternativas para correção desses estresses pode ser uma ferramenta importante para prevenir perdas de produtividade. Este trabalho foi conduzido objetivando identificar as melhores estratégias de manejo da cobertura nitrogenada para minimizar os prejuízos ocasionados pela desfolha e fitotoxicidade foliar. Foram conduzidos dois experimentos no município de Lages, no estado de Santa Catarina, Brasil, durante o ano agrícola de 2009/2010. O primeiro experimento avaliou o efeito da aplicação de nitrogênio (N) após a desfolha em três estádios de desenvolvimento. As desfolhas foram realizadas quando o milho tinha oito folhas expandidas (V8), 15 folhas (V15) e no pendoamento (VT). Imediatamente após a desfolha, em cada estádio, testaram-se quatro doses de N: 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>. Uma testemunha sem desfolha foi incluída, na qual foram aplicadas as mesmas doses de N. No segundo experimento, avaliou-se a capacidade de recuperação do milho após a fitotoxicidade ocasionada pelos fertilizantes nitrogenados. Avaliaram-se duas fontes de nitrogênio: uréia e nitrato de amônio, aplicadas em dois estádios: cinco (V5) e 10 folhas expandidas (V10). Os fertilizantes foram aplicados, na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, de quatro modos: na linha de semeadura, via sólida e fluída (fertilizante granulado diluído em água), e a lanço, com e sem molhamento foliar. A desfolha feita em V8 não afetou o rendimento de grãos. As desfolhas feitas em V15 e VT reduziram o rendimento de grãos independentemente da dose de N aplicada e não foram atenuadas pela aplicação de nitrogênio em cobertura. As aplicações próximas à linha asseguraram os maiores rendimentos, independentemente da fonte e da época de aplicação. A presença de molhamento foliar não aumentou os prejuízos ao

rendimento de grãos ocasionados pela aplicação a lanço de fertilizantes nitrogenados. A uréia foi menos fitotóxica do que o nitrato de amônio. O manejo da cobertura nitrogenada não foi uma estratégia viável para minimizar os prejuízos ocasionados pela desfolha. Contudo, ele pode minimizar a fitotoxicidade foliar através da escolha correta da fonte e do método de aplicação do fertilizante nitrogenado.

**Palavras-chave:** *Zea mays*. Nitrogênio. Fitotoxicidade. Área Foliar. Rendimento de grãos.

## ABSTRACT

JUNIOR, Gilmar José Picoli. **NITROGEN AS A STRATEGY TO MINIMIZE STRESS CAUSED BY DEFOLIATION AND LEAF PHYTOTOXICITY IN MAIZE**. 2011. 88 f. Dissertation (Mestrado em Produção Vegetal – Área: Fisiologia e Manejo de Plantas) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2011.

Despite of its high yield potential, maize has great sensitivity to biotic and abiotic stresses. Defoliations caused by the attack of army worm or hail and the occurrence of phytotoxicity caused by physical contact between leaves and nitrogen fertilizers can reduce maize grain yield. The search for alternatives to correct these stresses can be an important tool to prevent yield losses. This work was carried out aiming to identify the best strategies to manage nitrogen side-dress in order to mitigate damages caused by defoliation and foliar phytotoxicity. Two experiments were conducted in Lages, Santa Catarina, Brazil, during the 2009/2010 growing season. The first experiment evaluated the effect of nitrogen (N) rates side-dressed after defoliation at three growth stages. The defoliations were performed when plants had eight expanded leaves (V8), 15 expanded leaves (V15), and at tasseling (VT). After each defoliation, the rates of 0, 50, 100 and 200 kg ha<sup>-1</sup> N were side-dressed. A control without defoliation was included, having the same doses of N. In the second experiment, maize recovery capacity after the occurrence of phytotoxicity caused by nitrogen fertilizers was assessed. Two nitrogen sources were evaluated: urea and ammonium nitrate. Both N sources were applied at two growth stages: five (V5) and 10 expanded leaves (V10). The rate of 200 kg ha<sup>-1</sup> N was side-dressed using four methods: in the sowing row via solid or fluid, and broadcast over dry and wet leaves. Defoliation performed at V8 did not affect grain yield. Defoliations carried out at V15 and VT reduced grain yield regardless of N rate and were not mitigated by nitrogen side-dress. Nitrogen applications close to sowing row promoted higher grain yield, regardless of source and time of N application. The presence of moisture on the leaves did not increase grain yield losses when nitrogen was broadcasted over the plants. Urea caused lower leaf phytotoxicity than ammonium nitrate. The management of nitrogen side-dress was not an

effective strategy to minimize the damage caused by defoliation. However, it can mitigate foliar phytotoxicity through the right choice of source and method of N fertilization.

**Key-words:** Zea mays. Nitrogen. Phytotoxicity. Leaf Area. Grain Yield.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Balanço hídrico da safra 2009/10 na área experimental durante o desenvolvimento do milho, segundo metodologia proposta por Thorntwaite e Mather (1955), considerando a capacidade de armazenamento de água no solo de 75 mm. Lages, SC.....35
- Figura 2 - Área foliar por planta remanescente no florescimento do milho, em função da época de desfolha e da dose de nitrogênio (N) aplicado em cobertura. Lages, SC, 2009/10 .....37
- Figura 3 - Efeito da dose de N sobre o rendimento de grãos do milho em três estádios fenológicos de desfolha e um tratamento sem desfolha. Lages, SC, 2009/10....43
- Figura 4 - Efeito da dose de N sobre o rendimento de grãos do milho, na média de três épocas de desfolha e um tratamento sem desfolha. Lages, SC, 2009/10.....43
- Figura 5 - Massa de mil grãos de milho em função do estágio de desfolha e da aplicação de doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2009/10.....46
- Figura 6 - Folha considerada verde (esquerda) e folha considerada necrosada (direita) Lages, SC, 2009/10.....58
- Figura 7 - Vista geral de uma planta multiespigada. Lages, SC, 2009/10.....69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Temperatura média mensal do ar durante o ano agrícola de 2009/2010 e temperatura média entre outubro e abril de 1976 a 2009. Lages, SC.....	34
Tabela 2 -	Área foliar remanescente por planta e percentagem de área foliar remanescente no florescimento do milho em relação às subparcelas sem desfolha, em função da época de desfolha e da aplicação de doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2009/10.....	36
Tabela 3 -	Número de folhas verdes e senescidas por planta de milho, em função do estágio de desfolha e da aplicação de doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2009/10.....	38
Tabela 4 -	Rendimento e percentagem de aumento no rendimento de grãos do milho em função do estágio de realização da desfolha e da dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura. Lages, SC, safra 2009/10.....	39
Tabela 5 -	Rendimento de grãos e componentes do rendimento do milho em função do estágio de realização da desfolha, na média de quatro doses de nitrogênio (N). Lages, SC, safra 2009/10.....	40
Tabela 6 -	Massa de mil grãos em função do estágio de desfolha e da aplicação de doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2009/10.....	45
Tabela 7 -	Características agronômicas do milho em função do estágio de desfolha, na média das quatro doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2009/10.....	47
Tabela 8 -	Eficiência agronômica do nitrogênio (N) aplicado (EAN) <sup>1</sup> em função da dose de N aplicada em cobertura, na média dos estádios de realização da desfolha do milho. Lages, SC, 2009/10.....	48
Tabela 9 -	Área foliar verde e necrosada em relação à área foliar total aos dois dias após a cobertura com nitrogênio (N), em função da fonte, da época e do método de aplicação de N, em milho. Lages, SC, 2009/10.....	61

Tabela 10 - Área foliar verde aos 10 dias após a aplicação de nitrogênio (N) em função da fonte de N, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2009/10.....	62
Tabela 11 - Área foliar necrosada aos 10 dias após a aplicação de nitrogênio (N) em função da fonte de N, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2009/10.....	63
Tabela 12 - Efeito da fonte e do método de aplicação de nitrogênio (N) em cobertura sobre a proporção de área foliar necrosada aos dez dias após a aplicação dos fertilizantes, em relação à área emitida após a emergência na média de dois estágios de aplicação. Lages, SC, safra 2009/10.....	63
Tabela 13 - Área foliar verde aos 30 dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura, em função da fonte, do estágio fenológico e do método de aplicação de nitrogênio (N) em cobertura. Lages, SC, 2009/10.....	64
Tabela 14 - Área foliar necrosada aos 30 dias após a aplicação de nitrogênio (N) em função da fonte de N, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2009/10.....	65
Tabela 15 - Número de folhas verdes e senescidas no florescimento em função da fonte de N, na média de quatro métodos e de duas épocas de aplicação de nitrogênio. Lages, SC, safra 2009/10.....	66
Tabela 16 - Área foliar verde no florescimento em função da fonte, do estágio fenológico e do método de aplicação de nitrogênio (N) em cobertura. Lages, SC, 2009/10...	67
Tabela 17 - Proporção de plantas multiespigadas em função da fonte de N, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2009/10.....	68

Tabela 18 -	Rendimento de grãos em função do método de aplicação, estágio de aplicação e da fonte de N aplicada em cobertura. Lages, SC, safra 2009/10.....	70
Tabela 19 -	Rendimento de grãos e componentes do rendimento do milho em função do método de aplicação de nitrogênio em cobertura, na média de duas fontes e dois estádios fenológicos de aplicação. Lages, SC, 2009/10.....	71
Tabela 20 -	Efeito da fonte de nitrogênio sobre o rendimento de grãos e os componentes do rendimento, na média de quatro métodos e dois estádios de aplicação. Lages, SC, safra 2009/2010.....	72
Tabela 21 -	Porcentagem de plantas de milho sem espiga em função da fonte de N, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2009/10.....	74
Tabela 22 -	Eficiência agronômica do nitrogênio em função do método de aplicação de cobertura nitrogenada, na média de duas fontes e dois estádios fenológicos, em milho. Lages, SC, 2009/10.....	75

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL .....	16
2 ADUBAÇÃO NITROGENADA COMO ESTRATÉGIA PARA ATENUAR O ESTRESSE OCASIONADO PELA DESFOLHA EM TRÊS ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DO MILHO. ....	23
2.1 RESUMO.....	23
2.2 ABSTRACT .....	24
2.3 INTRODUÇÃO .....	24
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
2.5.1 Dados meteorológicos .....	34
2.5.2 Área foliar e números de folhas verdes e senescidas no florescimento .....	35
2.5.3 Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência agrônômica do nitrogênio.....	38
2.6 CONCLUSÕES .....	48
3 FONTES E MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE N E ESTRESSE SALINO INDUZIDO PELA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA EM DOIS ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DO MILHO.....	49
3.1 RESUMO.....	49
3.2 ABSTRACT .....	50
3.3 INTRODUÇÃO .....	50
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
3.5.1 Recuperação da área foliar e área foliar no florescimento .....	60
3.5.2 Estatura de planta, altura de inserção da espiga e multiespigamento .....	67
3.5.3 Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência agrônômica do nitrogênio.....	69
3.6 CONCLUSÕES .....	75
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	77
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.) é a mais importante planta comercial com origem nas Américas. Há indicações de que sua origem tenha sido no México, América Central. É uma das culturas mais antigas do mundo, havendo provas, através de escavações arqueológicas e geológicas, e através de medições por desintegração radioativa, de que é cultivado há pelo menos 5.000 anos. Seu nome de origem indígena significa “sustento da vida”, servindo de alimentação básica de várias civilizações importantes ao longo dos séculos. Logo depois do descobrimento da América, o milho foi levado para a Europa, onde era cultivado em jardins, até que seu valor alimentício tornou-se conhecido. Passou, então, a ser plantado em escala comercial e espalhou-se desde a latitude de 58° norte (União Soviética) até 40° sul (Argentina) (GODOY, 2002).

Atualmente o milho é o cereal mais cultivado no mundo. Sua relevância se deve essencialmente a multiplicidade de seus usos, o qual inclui o consumo humano, o consumo animal e diversas aplicações industriais. Possui em sua composição riquezas em carboidratos (60%), principalmente na forma de amido, assim como em proteínas (10%), lipídios (4%), além de minerais e vitaminas (FANCELLI & LIMA, 1982). O uso na alimentação humana direta, na forma de grãos, é relativamente pequeno, estando presente na dieta das pessoas através dos derivados. Contudo, para várias regiões do mundo, é preponderante para as relações sócio-econômicas, constituindo a principal fonte de energia diária de alimentação, como por exemplo, no nordeste do Brasil, para muitas pessoas que vivem no semi-árido. Outro exemplo está na população mexicana, que tem no milho o ingrediente básico para sua culinária (DUARTE, 2002). O uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal (cerca de 70% no mundo). Nos Estados Unidos, cerca de 50% da produção é destinada a esse fim, enquanto que no Brasil varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa e do ano agrícola (DUARTE et al., 2006). Atualmente, a Europa e os EUA têm incentivado a produção de milho para fins industriais na produção de etanol, utilizado como aditivo na gasolina para aumentar a octanagem, porém o uso do milho para este fim pode encarecer sua utilização para a alimentação.

Os Estados Unidos são os maiores produtores, consumidores e exportadores de milho. A China está na segunda posição na produção e no consumo. O Brasil é o terceiro em produção, consumo e exportação. A Argentina é a segunda exportadora e sexta produtora. Os

maiores importadores são o Japão, Coréia do Sul e México (CEPA, 2010). EUA, China e Brasil somam juntos 66% da produção total de milho e 48,5% da área total produzida (USDA, 2010).

A produção mundial de milho na safra 2009/2010 foi de 809,02 milhões de toneladas conforme dados do *United States Department of Agriculture* (USDA, 2010). De acordo com os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2010), o Brasil contribuiu com 55,9 milhões de toneladas, valor 4,8% superior ao da safra passada, numa área de 13 milhões ha (8,33% em relação ao mundo), 8,7% inferior que a safra 2008/2009, com produtividade em torno de 4.300 kg ha<sup>-1</sup>. Essa produtividade que foi recorde se deveu ao fato de que houve excelentes condições climáticas ao longo do ciclo nas regiões produtoras da cultura, sendo bom para o desenvolvimento vegetativo, floração, granação e colheita do milho.

A produtividade média prevista para a primeira safra de 2010/2011 é 4.268 kg ha<sup>-1</sup>, 3,3% menor que a da safra 2009/10, que alcançou 4.316 kg ha<sup>-1</sup>. O fenômeno La Niña não foi tão severo como era esperado e a produção está praticamente garantida no Centro-Sul do país. Para o milho segunda safra, a produtividade esperada é de 4.000 kg ha<sup>-1</sup>, podendo oscilar para mais ou para menos, conforme os efeitos do clima. A produção brasileira de milho esperada para a safra 2010/11 é de 54,50 milhões de toneladas, originada pela soma de 32,85 milhões de toneladas da primeira safra e 21,65 milhões de toneladas da segunda safra de milho (CONAB, 2011).

Santa Catarina foi o sétimo produtor brasileiro de milho na safra 2009/2010. O estado produziu 3,7 milhões de toneladas, em 593,5 mil hectares (CONAB, 2011). É importante frisar que quando contabilizada apenas a primeira safra de milho, a única possível para Santa Catarina, o estado passa a ser o quarto maior produtor nacional, ficando atrás apenas do Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Paraná. O rendimento médio da safra catarinense desse período foi o segundo maior do país, totalizando 6.400 kg ha<sup>-1</sup>. Historicamente, O Estado de Santa Catarina é deficitário na produção de milho devido ao grande rebanho de aves, suínos e, mais recentemente, também de vacas leiteiras situado no oeste do estado. Como o consumo animal cresce constantemente, os maiores déficits estão nos anos de maiores problemas na oferta de milho. A média de déficit tem sido, de 2002 em diante, da ordem de 1,5 milhões de toneladas por ano, representando 30,7% do consumo. Os extremos estão em 44% de déficit em 2005 e 7,4% em 2003 (CEPA, 2010).

A maior produção de milho do estado continua sendo a de 2002/03, pelo simples fato de que, então, foram plantados 270 mil ha a mais que na última safra. Depois disto, a área vem diminuindo quase todos os anos. Mesmo nos últimos quatro anos, 109 mil ha receberam

novos destinos. Entre eles se destacam 183,8 mil ha de aumento das lavouras de soja no período de maior expansão e 54 mil ha nos últimos quatro anos. Além da ocupação pela soja de aproximadamente a metade da área liberada pelo milho, os outros 55 mil ha foram divididos entre áreas destinadas à pecuária leiteira, ao reflorestamento, à recomposição da floresta nativa, aos sítios de lazer, à ampliação de perímetros urbanos e outros destinos menos expressivos (CEPA, 2010). Isto aponta para um déficit cada vez maior. Assim, a produtividade e a busca pela atenuação de estresses na cultura do milho devem ser mais exploradas.

Apesar de o Brasil ser o terceiro maior produtor mundial, o rendimento nacional está aquém da média conseguida por outros países como os EUA. Os principais fatores que contribuem para os baixos níveis de produtividade média de milho no Brasil são as condições climáticas desfavoráveis de algumas regiões, a utilização de variedades ou híbridos não adaptados a determinadas condições edafoclimáticas, o uso de sementes não certificadas, o manejo inadequado da população de plantas, ausência de pureza genética, o manejo incorreto de fertilizantes, principalmente dos nitrogenados e a ocorrência de estresses ao longo de seu ciclo. Apesar do elevado potencial produtivo, o milho apresenta acentuada sensibilidade a estresses em praticamente todas as fases de desenvolvimento.

Várias são as condições que estressam a planta. Segundo Jones e Jones (1991), o estresse pode ser definido como uma pressão excessiva por algum fator adverso que inibe o funcionamento normal de um sistema. As plantas são sistemas que reagem às diferentes condições de estresse procurando minimizar os gastos energéticos com o metabolismo alterado, priorizando determinadas características.

Estes estresses podem ser ocasionados por fatores bióticos (doenças, pragas, invasoras, etc.) ou abióticos. Os estresses abióticos podem ser divididos em dois grupos: nutricionais e ambientais. No primeiro caso, estão incluídas a deficiência de nutrientes e a toxidez (salinidade, acúmulo de metais pesados, fitotoxicidade de produtos químicos, etc.). No segundo caso, podem-se agrupar os estresses causados por condições climáticas adversas, como a restrição hídrica, o encharcamento do solo, as temperaturas extremas, o excesso de luz, os ventos, as precipitações fortes somadas à ocorrência de granizo. Bray et al. (2000) constataram que 66% da redução do rendimento recorde obtido com a cultura do milho deveu-se a perdas por estresses abióticos e 10% à ocorrência de estresses bióticos. Segundo os mesmos autores, os estresses abióticos reduziram 82 e 69% do rendimento recorde obtido para as culturas do trigo e da soja, respectivamente. Os estresses bióticos, provavelmente por

existirem ferramentas preventivas e curativas, oferecem menores danos às culturas, entretanto não são menos importantes.

Quando a cultura do milho não estiver expressando sua potencialidade máxima, é provável que esteja sofrendo algum tipo de estresse. Em nível celular e molecular, os estresses fomentam a produção de radicais livres que podem danificar as membranas, proteínas e DNA (SCANDALIOS, 1993; ARTILIP e WISNIEWSKI, 2002).

O milho é uma cultura que apresenta grande habilidade fisiológica de conversão de CO<sub>2</sub> em compostos orgânicos. Por conseqüência, apresenta elevado potencial produtivo. No entanto, a translocação destes compostos orgânicos para os grãos pode ser alterada pelas condições de solo, clima e nível de estresse da cultura (TOLLENAAR, 1977). Além disso, esta cultura apresenta acentuada sensibilidade aos fatores bióticos e abióticos, pequena plasticidade foliar, reduzida prolificidade e limitada capacidade de compensação de espaços (ANDRADE, 1995; SANGOI et al., 2007a). Tudo isso, faz com que o seu cultivo necessite ser rigorosamente planejado e criteriosamente manejado, para que possa manifestar sua capacidade produtiva.

A maior ou menor influência de um determinado tipo de estresse sobre a planta depende da magnitude do mesmo e do estágio fenológico da cultura. Esses estresses são mais importantes quando afetam as culturas nos períodos de definição do rendimento. Na cultura do milho, a ocorrência de estresses nos estádios reprodutivos pode ser muito prejudicial ao rendimento, pois reduzirá a polinização e a fertilização dos óvulos, diminuindo, conseqüentemente, o tamanho de espigas, o número e o tamanho de grãos (HSIAO, 1973; MUCHOW e SINCLAIR, 1991; MARSCHNER, 1995).

Um exemplo de estresse no milho que causa grandes prejuízos é a ocorrência de déficit hídrico. Este estresse potencializa as perdas quando ocorre no período de florescimento e enchimento de grãos. Neste caso, a planta de milho prioriza a emissão da inflorescência masculina, pelo seu acentuado caráter protândrico (SANGOI, 2001), reduz o rendimento de grãos, a emissão dos estigmas e a formação de grãos (DENMEAD e SHAW, 1960; SCHUSLER e WESTGATE 1994). Além do estresse hídrico, outros eventos desfavoráveis podem ser citados influenciando o acúmulo de fitomassa e o rendimento da cultura do milho, como o estresse ocasionado por temperaturas extremas (TAYLOR et al., 1998), acúmulo de sais no solo (DUBEY e PESSARAKLI, 2002), deficiências nutricionais (MALAVOLTA e DANTAS, 1987), intensidade de doenças (REIS et al., 2004), competição com plantas daninhas (BEGON et al., 1986). Outros exemplos de estresses que podem limitar o

desenvolvimento e o desempenho agrônômico da cultura são: a desfolha ocasionada por ataques de lagartas, a ocorrência de granizo e aplicação inadequada de sais nitrogenados.

As desfolhas ocasionadas por granizo e pelo ataque da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) são dois tipos de estresse comumente observados no Brasil que se constituem num problema de ordem econômica, reduzindo a produtividade. Outro fator que pode interferir na produção, se refere à aplicação inadequada de fertilizantes nitrogenados. A recuperação destes estresses é importante na manutenção do potencial produtivo ou na menor redução da produtividade do milho e a correção dos mesmos pode ser conseguida pela regulação nutricional adequada da planta ou adequação do manejo de fertilizantes utilizados na cobertura do milho. A busca na correção desses estresses sofridos pelo milho com o uso da adubação nitrogenada em cobertura após a ocorrência de desfolha e a sua forma adequada de aplicação pode ser uma estratégia de manejo efetiva para atenuar as perdas de produtividade, visto que esse nutriente é o exigido em maior quantidade e o que traz respostas rápidas e maiores incrementos no rendimento final da lavoura.

O N desempenha um papel estrutural no metabolismo vegetal, pois faz parte de moléculas essenciais para a planta cuja ausência limita a produtividade da cultura. Portanto, é o nutriente absorvido em maior quantidade, o que o torna um dos nutrientes mais importantes e estudados por pesquisadores em todo o mundo. Bull (1993) cita que o nitrogênio, além de ser constituintes de moléculas de proteína, enzima, coenzimas, ácidos nucléicos e citocromos, apresenta importante função como integrante da molécula de clorofila, atuando diretamente no processo de divisão e expansão celular.

De acordo com Cobucci (1991), o nitrogênio é um dos nutrientes que proporciona os maiores efeitos nos componentes de produção e produtividade da cultura do milho, sendo que, sua aplicação pode interferir em diversas características da planta relacionadas ao crescimento e desenvolvimento, as quais direta ou indiretamente afetam a produtividade. A falta de nitrogênio afeta diretamente o desenvolvimento da área foliar e a taxa de fotossíntese (GODOY JÚNIOR e GRANER, 1964; LEMAIRE & GASTAL, 1997).

Quando há deficiência de N ocorre diminuição da longevidade das folhas verdes (metabolicamente ativas) interferindo na produção de massa seca (MALAVOLTA et al., 1976) e, conseqüentemente, sobre a produtividade. A taxa de fotossíntese é prejudicada porque há diminuição da radiação interceptada pelas folhas. O N também afeta o crescimento do sistema radicular, o tamanho das espigas, o número e massa de grãos e sanidade de grão, além de componentes da produtividade como a massa de 1000 grãos e número de espigas por planta (MELGAR et al., 1991); a altura de plantas (DAVIDE, 1967); o comprimento da

espiga (BALKO e RUSSEL, 1980); o diâmetro do colmo (PEREIRA FILHO, 1977); a inserção da espiga, e o número de plantas acamadas e quebradas (GODOY JÚNIOR e GRANER, 1964). Portanto, a deficiência de nitrogênio torna-se o principal fator limitante do crescimento das plantas, face à grande exigência (BLACK, 1975; MALAVOLTA, 1977). A deficiência de nitrogênio reduz a densidade de grãos entre 9 e 25% e a produtividade de grãos, entre 14 e 80%, porque esse elemento, além de afetar a determinação do número de células endospermáticas e de grânulos de amido, pode reduzir a fonte de fotoassimilados, devido à diminuição do índice e duração de área foliar (NEHMI et al., 2004).

Tyner (1946) verificou que o N, mais que qualquer outro nutriente, possui potencial para determinar a produtividade de grãos. A produtividade do milho está associada com a atividade metabólica do carbono e do nitrogênio, tendo este um papel direto na acumulação de massa seca nos grãos (MACHADO et al., 1992).

O N é o único dos nutrientes minerais que pode ser absorvido pelas plantas em duas formas distintas: como ânion ( $\text{NO}_3^-$ ) e como cátion ( $\text{NH}_4^+$ ). Segundo Yamada (1996), o nitrogênio é absorvido pelas plantas de milho principalmente na forma nítrica, que posteriormente é reduzida a amônio, num processo onde estão envolvidas duas enzimas, a redutase de nitrato e a redutase de nitrito, sendo que a primeira é responsável pela transformação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e a segunda pela transformação de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) em amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), para posterior assimilação em aminoácidos. O nitrato é a forma mais absorvida pelas raízes das plantas devido à presença das bactérias nitrificadoras do solo (*Nitrossomonas* e *Nitrobacter*) que costumam oxidar rapidamente o amônio a nitrato.

As respostas do milho à adubação nitrogenada, tal como as de outras culturas, estão relacionadas às cultivares utilizadas, ao manejo da cultura (densidade de semeadura, uso do solo, clima, etc.) e a capacidade de suprimento de N pelo solo. Segundo Lantmann et al. (1985) e Anghinoni (1985), estas respostas são função do suprimento de nitrogênio no solo e da dose aplicada. A estes fatores podem ser acrescentadas a temperatura e a interceptação da radiação solar (fotossíntese) (MUCHOW e SINCLAIR, 1995). Contudo, o efeito da adubação nitrogenada depende do estágio fenológico em que ocorrer o estresse (UHART e ANDRADE, 1995).

Sabendo-se que o nitrogênio é o nutriente que apresenta os maiores incrementos na produtividade do milho, que a cobertura nitrogenada é uma prática amplamente utilizada na agricultura moderna e que o N tem impacto positivo especialmente em condições limitantes, os efeitos deste nutriente na recuperação de estresses devem ser avaliados. Assim, o presente

trabalho objetivou determinar estratégias de manejo da cobertura nitrogenada em pós-emergência que possam contribuir para a redução de estresses ocasionados por desfolha e fitotoxicidade foliar na cultura do milho.

## **2 ADUBAÇÃO NITROGENADA COMO ESTRATÉGIA PARA ATENUAR O ESTRESSE OCACIONADO PELA DESFOLHA EM TRÊS ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DO MILHO.**

### **2.1 RESUMO**

Devido à demanda crescente na produção de alimentos, tão importante quanto aumentar o potencial produtivo do milho é diminuir perdas no rendimento ocasionadas por estresses. Os estresses geralmente ocorrem devido à competição por água, luz e fotoassimilados, ou pela redução da área foliar fotossinteticamente ativa. O nitrogênio é o nutriente que mais influencia o rendimento do milho. Ele pode ser utilizado como ferramenta na redução dos prejuízos ocasionados pela redução da área foliar, pois atua diretamente no processo de divisão e expansão celular. Este experimento teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de nitrogênio na recuperação do milho submetido à desfolha em diferentes estádios de desenvolvimento. O ensaio foi conduzido no município de Lages, Planalto Sul de Santa Catarina. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, dispostos em parcelas subdivididas. Na parcela principal foram testadas três épocas de desfolha: oito folhas expandidas (V8), quinze folhas expandidas (V15) e pendoamento (VT), e um tratamento sem desfolha. Nas subparcelas avaliaram-se quatro doses de N aplicadas em cobertura imediatamente após a desfolha: 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>. O híbrido utilizado foi o P32R22, na densidade de 70.000 pl ha<sup>-1</sup> e espaçamento entre linhas de 0,7m. Avaliaram-se a área foliar remanescente no florescimento, o rendimento de grãos e seus componentes. A desfolha realizada em V8 reduziu a área foliar no florescimento, porém não diminuiu o rendimento de grãos, independentemente da dose de N aplicada. A aplicação de N não permitiu a recuperação das plantas quando desfolhadas em V15 e VT. Nestes estádios fenológicos, a desfolha causou maior redução no rendimento de grãos devido ao hábito de crescimento determinado do milho e a menor capacidade de expansão foliar. A cobertura nitrogenada não minimizou o estresse ocasionado pela desfolha.

**Palavras-chaves:** *Zea mays*. Nitrogênio. Área foliar. Rendimento de grãos.

## 2.2 ABSTRACT

Due to the increasing demand in food production, as important as to enhance maize yield potential is to reduce productivity losses caused by stresses. The stresses generally occur due to competition for light, water and photoassimilates, or the reduction of photosynthetically active leaf area. Nitrogen is the nutrient that has the greatest impact on maize yield. It can be used as a tool to mitigate the damage caused by leaf area reduction because it acts directly in the process of cell division and expansion. This experiment aimed to evaluate the effect of nitrogen rates in the recovery of maize subjected to defoliation at several growth stages. The trial was set in Lages, Santa Catarina Southern Plateau. The experimental design was a randomized block disposed in split-plots. Three defoliation growth stages were tested in the main plots: eight expanded leaves (V8), fifteen expanded leaves (V15) and tasseling (VT), plus a control without defoliation. Four N rates side-dressed immediately after defoliation were assessed in the split-plots: 0, 50, 100 and 200 kg ha<sup>-1</sup>. The hybrid P32R22 was sowed at the density of 70,000 pl ha<sup>-1</sup> with a row spacing of 0.7m. The remaining leaf area at flowering, grain yield and its components were determined. Defoliation at V8 reduced leaf area at flowering but did not decrease grain yield, regardless of N rate. Nitrogen application did not prevent yield losses when plants were defoliated at V15 and VT because at these growth stages maize has limited capacity to expand new leaves due to its determinate growing habit. Side-dressing different rates of nitrogen did not mitigate the stress caused by defoliation.

**Key-words:** *Zea mays*. Nitrogen. Leaf area. Grain yield.

## 2.3 INTRODUÇÃO

O milho é uma das espécies de importância agrícola que apresenta maior potencial de utilização da radiação solar para a conversão de carbono inorgânico em carbono orgânico e o seu posterior acúmulo nos grãos (VEGA et. al., 2001). O seu potencial de rendimento de grãos no ambiente depende da quantidade de radiação incidente, da eficiência da interceptação da radiação incidente, da eficiência de conversão da radiação interceptada em biomassa vegetal e da eficiência de partição de fotoassimilados à estrutura de interesse econômico (ANDRADE, 1995).

Alcançar elevados tetos produtivos é uma tarefa teoricamente simples, porém, para o milho manifestar sua elevada capacidade de produção de biomassa, é necessário que a planta apresente adequada estrutura de interceptação da radiação disponível, que somente poderá ser obtida quando atingir pelo menos 85-90% de sua área foliar máxima. Assim, quanto mais rapidamente tal condição for alcançada maior será a taxa de crescimento e a garantia de velocidade metabólica satisfatória. Este fato evidencia a importância da superfície foliar sobre o rendimento de grãos do milho. Caso haja uma redução na área foliar, dependendo do estágio fenológico da cultura, sua produção poderá ser limitada. Este tipo de limitação pode ocorrer através de estresses de fatores bióticos e abióticos. Dentre os eventos bióticos que podem ocasionar a redução de área foliar, pode-se citar o ataque de lagartas desfolhadoras. Já o granizo é o principal evento abiótico responsável pela redução da superfície fotossinteticamente ativa.

Durante o crescimento da planta de milho, a maior perda de folhas ocorre abaixo da espiga como consequência de uma senescência natural. Danos causados por granizo e insetos, entre outros, que ocorrem durante os estádios vegetativos provocam perdas principalmente de folhas localizadas abaixo da espiga. A deficiência de nitrogênio e os danos causados por doenças foliares ocorrem inicialmente em folhas abaixo da espiga, evoluindo posteriormente para as localizadas acima da espiga. Quando ocorrem chuvas de granizo e ataques de insetos em estádios mais avançados de crescimento da planta, as folhas localizadas acima da espiga também podem ser danificadas.

O granizo é uma chuva de gelo que se forma quando pequenas partículas de gelo caem dentro das nuvens, recolhendo assim a umidade. Essa umidade se congela e as partículas são levadas para cima novamente pelas correntes de ar, aumentando de tamanho. Isso acontece várias vezes, até que a partícula se transforma em granizo, que tem o peso suficiente para vencer as correntes de ar e cair em direção a terra. É uma das fontes abióticas de estresse mais prejudiciais às plantas, em qualquer época e magnitude, podendo causar diversos danos às plantas pela ruptura das folhas. Segundo Resende et. al. (2008), chuvas com muito vento e granizo, no final do ciclo da cultura do milho, ocasionaram tombamento de plantas e perda de massa foliar, inviabilizando a avaliação de matéria seca da parte aérea. Tartachnyk & Blanke (2002) observaram que os danos causados pela chuva de granizo diminuíram a eficiência da fotossíntese e aumentaram as perdas de água na maçã. Os efeitos do granizo podem ser ainda mais prejudiciais em milho com fins de silagem, já que prejudicam inclusive a qualidade do produto (ROTH & LAUER, 2008). Porém, para Jones e Henderlong (1981), a ocorrência de geada leve, da emergência até ao estágio de cinco folhas na cultura do milho, não refletiu em

efeito significativo na redução da produção de grãos e de forragem. Quando o fenômeno climático ocorre nos estágios mais avançados do desenvolvimento, os efeitos sobre a planta são maiores.

A lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda* Smith) é a principal praga que ataca as folhas da cultura do milho convencional. Ocorre em todas as regiões produtoras, tanto nos cultivos de verão, quanto nos de segunda safra (safrinha). A espécie ataca a planta desde sua emergência até a formação das espigas (CRUZ, 1995). Ela prefere as folhas mais novas e, por isso, ataca o cartucho da planta, chegando a destruí-lo completamente. Quando essa praga ataca plantas de até 30 dias, ela pode causar sua morte e reduzir o estande inicial. Em plantas maiores, pode comprometer a produtividade ao alimentar-se do parênquima das folhas, do broto central da planta (cartucho-do-milho) e dos grãos da espiga (CRUZ & TURPIN, 1982; CRUZ et al., 1996). Lagartas nos primeiros instares apenas raspam as folhas. Depois de desenvolvidas, conseguem fazer furos, danificando-as totalmente (GALLO et al, 2002). Suscetíveis em praticamente todas as fases de desenvolvimento, as plantas de milho ficam prejudicadas pela destruição do cartucho, reduzindo a área fotossinteticamente ativa e a produção. São encontradas na literatura reduções nos rendimentos superiores a 30% pela redução da área foliar (WILLIAMS & DAVIS, 1990; CRUZ et al, 1996), dependendo dos estádios de desenvolvimento da cultura. Cruz e Turpin (1982) encontraram as maiores perdas entre os estágios V8 e V10, segundo a escala proposta por Ritchie (1993). Entretanto, Siloto (2002), encontrou que os menores danos da redução da área foliar da lagarta ocorreram entre V10 e V12. Os danos da lagarta do cartucho em anos de estiagem são maiores. Assim, em anos com frequência de chuvas de granizo ou períodos de seca, a probabilidade de ocorrência de desfolha aumenta, dificultando as decisões a serem tomadas pelos agricultores.

Além dos prejuízos anteriormente mencionados, a desfolha ou perda de folhas pode aumentar a predisposição da planta ao tombamento e quebramento, pois a mesma ficará menos protegida devido à remoção das folhas. Tal fato foi constatado por Pinter e Kalman (1979), verificando que a redução da área foliar, na época da emissão dos estilos-estigma ocasionou deterioração do colmo, favorecendo a infecção do colmo por *Fusarium* sp., com consequente aumento no acamamento.

A maior ou menor influência de um determinado tipo de estresse sobre a planta depende da magnitude do mesmo e do estágio fenológico da cultura. Os estresses são mais importantes quando afetam as culturas nos períodos de definição do rendimento. O milho é mais suscetível a perda de área foliar no pendoamento e no espigamento do que em qualquer outro estágio fenológico. Segundo Vassilas e Seif (1985a), a perda completa de área foliar

nestes estádios resulta numa perda próxima a 100% do rendimento. Isto se deve ao fato de que o milho é uma planta de crescimento determinado. Quando o pendão emerge, as plantas têm seu crescimento vegetativo completado. Assim, todas as folhas estão expandidas neste momento e não existem mais folhas novas para emergir se as folhas expostas forem danificadas. Da mesma forma, a perda de área foliar antes do enchimento de grãos diminuirá a fonte disponível para interceptar a radiação. Como resultado haverá uma menor produção de fotoassimilados (LAUER, 2009).

A desfolha em milho reduziu a taxa de crescimento dos grãos e o seu período de enchimento, resultando em menor peso por grão (HANWAY, 1969; JONES e SIMONS, 1983), diminuiu a concentração de carboidratos não estruturais do colmo (ALLISON e WATSON, 1966; BARNETT e PEARCE, 1983) e reduziu o conteúdo de carboidratos solúveis no entrenó acima da espiga (JONES e SIMONS, 1983). Além destes efeitos, a ocorrência de desfolha pode afetar a maturação da cultura do milho. Hicks (1977) reportou que a desfolha antes do pendoamento aumentou a umidade da espiga na colheita e atrasou a maturidade, enquanto desfolhas feitas depois do pendoamento anteciparam a maturação da espiga. Segundo Vargas (2010), a duração do período de enchimento de grãos foi, aproximadamente, a metade da registrada nos tratamentos sem desfolha, desfolha em V8 e desfolha em V15, quando a desfolha ocorreu no pendoamento. A desfolha em VT atrasou o espigamento do milho, aumentando o intervalo entre a antese (pendoamento com deiscência de pólen) e a exteriorização dos estigmas. Este atraso comprometeu a polinização e a fertilização de óvulos, pois o período de liberação de pólen pelo pendão é curto e o pólen permanece viável por pequeno espaço de tempo (VARGAS, 2010).

A escassez de novas áreas para cultivo e a alta demanda do mercado tem levado a pesquisa ao desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a elevação da produtividade. Várias pesquisas foram realizadas no Brasil e no mundo sobre a influência da perda de folhas no desempenho da planta de milho (HICKS et al., 1977; TOLLENAAR e DAYNARD, 1978; JONES e HENDERLONG, 1981; VASILAS e SEIF, 1985b; FANCELLI, 1988; SARCA et al., 1987; THOMISON e GEYER, 2004), mas poucas com soluções para este tipo de problema.

O efeito negativo ocasionado pela ocorrência de desfolhas nas plantas de milho através de chuva de granizo ou pelo ataque da lagarta do cartucho deve ser minimizado visando menores perdas na produtividade e na qualidade do produto colhido. A adubação nitrogenada em cobertura surge como alternativa para estimular a regeneração de área foliar da cultura do milho quando esta é prejudicada por esses dois eventos.

O nitrogênio é o elemento mais absorvido e mais extraído pela cultura do milho (BULL, 1993). O papel do N na formação da colheita é exercido através da participação dos compostos nitrogenados. Ele é o maior responsável pela vegetação (não dispensada a participação de outros elementos), interferindo no índice de área foliar e na produção de gemas floríferas. Seu fornecimento adequado pelo solo ou pela fertilização melhora a qualidade dos produtos agrícolas.

O nitrogênio é um elemento altamente instável no solo, perdendo-se com facilidade por lixiviação, volatilização e desnitrificação (ERNANI, 2003). A demanda por nitrogênio do milho nas fases iniciais do seu ciclo é pequena. Da quantidade total requerida pela cultura, apenas 5 a 10 % é absorvida até a diferenciação do primórdio floral (SANGOI et. al., 2007a). Em função disto, a Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2004) recomenda que a maior parte do fertilizante nitrogenado seja aplicada em cobertura.

Vários trabalhos analisaram os efeitos da época de aplicação do nitrogênio na cultura do milho. A maioria deles aponta que a cultura é responsiva à aplicação do mesmo até a oitava folha. Este é o período em que o potencial produtivo da cultura começa a ser determinado, pois tem início a fase reprodutiva (RITCHIE et. al, 1993).

De maneira geral, o parcelamento da adubação nitrogenada de cobertura é mais indicado quando a cultura for instalada em solos com teor de argila inferior a 30%, quando a época for favorável à lixiviação (período chuvoso) e quando quantidade de nitrogênio a ser utilizada for superior a 100 kg ha<sup>-1</sup> (SANGOI et. al., 2007a).

Na região sul do Brasil, coberturas nitrogenadas feitas após oito folhas expandidas normalmente não são recomendadas para a cultura do milho, por serem menos efetivas agronomicamente e mais difíceis de serem feitas mecanicamente. Contudo, se houver queda de granizo ou ataque da lagarta do cartucho, a cultura poderá responder a coberturas nitrogenadas feitas mais tardiamente. Esta hipótese é uma das bases para a realização deste trabalho.

Silva et. al. (2005) constataram que alguns híbridos contemporâneos de milho responderam a coberturas nitrogenadas feitas no emborrachamento e florescimento, especialmente em situações onde ocorreram deficiências de N na fase vegetativa, e em lavouras com alto potencial de rendimento (áreas irrigadas, com alta densidade de plantas e outros nutrientes não limitantes). Estes autores enfatizaram, contudo, que coberturas nitrogenadas tardias são medidas emergenciais para atenuar algum tipo de estresse ocorrido durante as fases iniciais do ciclo, como por exemplo, a desfolha ocasionada por granizo ou

ataque de lagarta do cartucho. Nestes casos, o efeito tônico do nitrogênio pode estimular a recuperação de parte da produtividade que se julgava perdida pela redução da área foliar. Vargas (2010) trabalhou com desfolha e aplicação de nitrogênio em cobertura em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho e concluiu que a adubação nitrogenada conseguiu mitigar os prejuízos causados pela desfolha quando esta foi imposta com o milho em V15. No mesmo trabalho, verificou-se alta correlação linear e direta entre os teores de N e a concentração de clorofilas e a leitura com clorofilômetro em ensaio com doses crescentes de N. Assim, com o aumento da disponibilidade de N há maior assimilação de carbono.

Segundo Fancelli & Durval (2004), na fase da planta com oito folhas expandidas, a destruição total das folhas expostas nesse período, mediante a ocorrência de granizo, geada, ataque severo de pragas e doenças e outros agentes, acarreta em quedas na produção de 10 a 25%. Quando a planta estiver com quatro folhas totalmente desdobradas, os efeitos da baixa temperatura causados por geada ou mesmo a ocorrência de granizo, promovem pequena redução na produção em virtude de não ocasionarem prejuízos ao tecido meristemático. Já a retirada de folhas superiores das plantas do milho quando a cultura apresenta 50% das panículas em fase de polinização, ocasionou queda na produção em virtude da redução do peso de espigas, redução do peso de grãos e encurtamento do período de enchimento de grãos. Estes dados demonstram que quando maior o número de folhas expandidas no momento da desfolha, maiores serão os prejuízos no rendimento da cultura.

O manejo da cobertura nitrogenada pode ser uma estratégia eficiente para minimizar estresses ocasionados pela desfolha, já que este nutriente é aquele que apresenta maior resposta de incremento ao rendimento de grãos (SILVA et al., 2006) e o que mais responde em condições limitantes. Contudo, a correção dos estresses ocasionados pela desfolha deverá ser feita com cautela, observando as indicações de uso do N e dos fertilizantes nitrogenados e de toda a dinâmica do nutriente.

O N é o nutriente mais estudado quando se visa incrementos em produtividade nos sistemas agrícolas. Contudo, ele também pode ser utilizado para minimizar estresses ocasionados pela destruição de área foliar, que possam comprometer o desenvolvimento normal da planta. Nesta visão, o nitrogênio contribuirá para que as perdas no rendimento sejam minimizadas.

A aplicação da adubação nitrogenada feita em cobertura após a ocorrência de desfolhas pode minimizar as perdas na produtividade da cultura do milho. O presente trabalho objetivou identificar se a aplicação de doses crescentes de nitrogênio é capaz de regenerar a área foliar e diminuir os prejuízos ocasionados pela desfolha ao rendimento de grãos e identificar em que

estádio de desenvolvimento o nitrogênio é mais eficiente para minimizar os prejuízos ocasionados pela redução de área foliar.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, durante o ano agrícola de 2009/10, no distrito de Santa Terezinha do Salto, localizado a 20 km da cidade de Lages, no Planalto Sul de Santa Catarina. As coordenadas geográficas da área experimental são 27°50'35" de latitude Sul e 50°29'45" de longitude oeste e altitude de 849 metros. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, mesotérmico, com verões brandos, temperaturas médias do mês mais quente inferiores a 22°C e precipitações pluviais bem distribuídas.

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Segundo análise da fertilidade do solo realizada em setembro de 2009, ele apresentava 420 g kg<sup>-1</sup> de argila; 51,0 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; pH H<sub>2</sub>O 5,5; índice SMP 5,7; 5 mg dm<sup>-3</sup> de P; 0,50 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de K; 5,9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de Ca; 2,8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de Mg; 0,3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de Al e 15,3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de CTC.

Foram testadas quatro doses de nitrogênio em cobertura, equivalentes a 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N. As doses de N foram aplicadas quando as plantas de milho tinham oito folhas totalmente expandidas, quinze folhas totalmente expandidas e no pendoamento, equivalentes aos estádios V8, V15 e VT, respectivamente, segundo escala proposta por Ritchie et. al. (1993). As aplicações foram realizadas imediatamente após a remoção das folhas totalmente expandidas para cada estágio. A desfolha foi feita manualmente, retirando-se todas as folhas verdes com colar visível, em cada estágio fenológico. Um tratamento sem desfolha também foi conduzido, sendo que as doses de N do mesmo foram aplicadas no estágio V8, que se encontra dentro do período de recomendação para a aplicação do nutriente.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, dispostos em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As três épocas de desfolha e o tratamento sem desfolha foram avaliados nas parcelas principais. As quatro doses de N aplicadas em cobertura foram testadas nas subparcelas. Cada subparcela foi constituída por quatro linhas de seis metros de comprimento, espaçadas entre si por 0,7 m, tendo como área útil, as duas linhas centrais, perfazendo 8,4 m<sup>2</sup>.

O genótipo utilizado foi o híbrido simples P32R22, da empresa Pioneer Sementes. As principais características deste material são o ciclo super precoce, elevado potencial produtivo e elevada capacidade de compensação de espigas (PIONEER SEMENTES, 2010).

Em meados de maio de 2009 procedeu-se a semeadura de aveia preta (*Avena strigosa*), utilizando-se 80 kg ha<sup>-1</sup> de sementes para cobertura verde. A cobertura resultou em 2.600 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca por ocasião da dessecação realizada no início do mês de setembro, 40 dias antes da semeadura.

A semeadura do milho foi realizada no dia 21 de outubro de 2009, no sistema de semeadura direta, sobre restos culturais de aveia preta. A operação foi realizada utilizando-se semeadoras manuais, reguladas para distribuir três a quatro sementes por cova igualmente espaçadas. Utilizou-se excesso de sementes para obter população de 70.000 plantas ha<sup>-1</sup>. No momento da semeadura, o arranjo entre as plantas foi obtido utilizando-se barbantes marcados com as distâncias corretas entre as plantas. A distância utilizada entre as covas foi de 20 cm.

Previamente à semeadura, as sementes foram tratadas com inseticida à base de fipronil+tiametoxam (10 + 42 g ha<sup>-1</sup> de i.a.), para controle de pragas de solo na emergência do milho. Quando as plantas estavam no estágio V3, procedeu-se o desbaste do excesso de plantas, deixando-se apenas uma planta por cova, para alcançar a população almejada. Para acompanhamento da precipitação, foram instalados dois pluviômetros na área experimental, que eram constantemente vistoriados, anotando-se os valores das precipitações ocorridas na área.

O controle de plantas daninhas foi efetuado com duas aplicações de herbicida. A primeira foi feita em pré-emergência das plantas daninhas, no dia da semeadura, com uma mistura de atrazina e s-metolaclo (1.400 + 2.100 g ha<sup>-1</sup> de i.a.). A segunda aplicação foi realizada em pós-emergência quando as plantas de milho estavam no estágio V3, utilizando o produto tembotriona (100 g ha<sup>-1</sup> de i.a.). O controle de plantas daninhas que surgiram posteriormente foi feito com capinas manuais nas entrelinhas do milho.

A adubação de manutenção foi feita no dia da semeadura, utilizando nitrogênio, fósforo e potássio. As doses utilizadas foram baseadas na análise do solo da área experimental e nas recomendações para a cultura do milho de acordo com as especificações feitas pelo Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004) para uma expectativa de rendimento de grãos de 12 t ha<sup>-1</sup>. As fontes utilizadas de P e K foram superfosfato triplo (46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O), respectivamente, com doses de 245 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 110 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Para o N foi utilizado como fertilizante a uréia (45% de N) na dose de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Os fertilizantes foram distribuídos superficialmente próximos às linhas de semeadura. A aplicação da cobertura nitrogenada ocorreu de acordo com as épocas e doses determinadas

pelos tratamentos do ensaio. Durante a aplicação de N nos respectivos estádios fenológicos, o fertilizante foi distribuído superficialmente a 20 cm das linhas do milho.

A percentagem de desfolha das plantas de milho foi estimada pela mensuração da área foliar por planta de todas as folhas fotossinteticamente ativas remanescentes no florescimento das unidades experimentais em que houve remoção das folhas, em relação ao tratamento sem desfolha. As comparações foram feitas para cada dose de N aplicada. Para esta avaliação foram utilizadas cinco plantas por unidade experimental. As plantas utilizadas foram selecionadas no estágio V4 procurando-se manter homogeneidade morfológica e fenológica. As plantas foram identificadas com tinta preta lavável, marcando-se as extremidades da quarta, oitava, décima segunda e décima sexta folhas de cada planta, as quais serviram como referenciais na contagem de folhas e na determinação dos estádios fenológicos.

A área foliar foi obtida de acordo com a metodologia descrita por Tollenaar (1992). Mediu-se com uma trena o comprimento (C) e a maior largura (L) de todas as folhas fotossinteticamente ativas, com pelo menos 50% de área foliar verde, de acordo com critério utilizado por Borrás et al. (2003). A área foliar (A), expressa em cm<sup>2</sup>, foi estimada utilizando-se a expressão:  $A = C \times L \times 0,75$ , onde o valor 0,75 é um coeficiente de correção utilizado por que as folhas não apresentam área retangular. O somatório das áreas de todas as folhas determinou a área foliar por planta. Este procedimento também foi adotado para as folhas removidas nos três estádios de desenvolvimento. Para avaliação da área foliar no florescimento foram utilizadas as mesmas plantas. A metodologia para avaliação foi a mesma, medindo-se comprimento e maior largura de todas as folhas remanescentes à desfolha. A área remanescente no florescimento por planta foi expressa em cm<sup>2</sup>.

A estatura de plantas e a altura de inserção da espiga superior foram determinadas quando as plantas estavam entre R2 e R3. Para determinação destas variáveis foram utilizadas seis plantas com homogeneidade morfológica e fenológica na área útil. A estatura de planta correspondeu à medida da distância do colo da planta à extremidade do pendão. A altura de inserção de espiga correspondeu à distância entre o colo da planta e o nó em que estava inserida a espiga superior.

Antes da colheita determinaram-se as percentagens de plantas acamadas, quebradas, sem espigas e o número de espigas produtivas por planta (índice de espiga). A percentagem de acamamento foi calculada dividindo-se o número de plantas acamadas pelo número total de plantas da área útil multiplicado por cem. Consideraram-se acamadas as plantas cujo colmo formava um ângulo com a superfície do solo inferior a 45°. Consideraram-se quebradas as plantas que apresentavam ruptura do colmo abaixo da espiga. Para avaliação da esterilidade

feminina, consideraram-se como espigas produtivas aquelas que tinham mais de 10 grãos formados. O índice de espigas foi obtido dividindo-se o número de espigas colhidas pelo número de plantas existentes na área útil das unidades experimentais.

Quando todas as folhas das plantas estavam senescentes e a umidade dos grãos encontrava-se entre 18 e 22%, procedeu-se a colheita manual das espigas. Para avaliação do rendimento de grãos e seus componentes (número de grãos por espiga, número de grãos m<sup>2</sup> e massa de mil grãos) foram consideradas todas as plantas da área útil. As espigas foram trilhadas com uma trilhadora estacionária. Os grãos foram acondicionados em estufa, sob ventilação e temperatura de aproximadamente 65°C, até atingirem massa constante. Os pesos obtidos da massa seca de grãos colhidos na área útil das subparcelas foram convertidos para um hectare, na umidade padrão de 130 g kg<sup>-1</sup>, determinando-se o rendimento de grãos. Uma subamostra de 400 grãos inteiros por tratamento foi separada e pesada. Esta subamostra foi submetida à secagem em estufa regulada para 105°C por 72 horas. Depois de ser determinada a massa seca, esta foi multiplicada pelo fator 2,5, convertida para 130 g kg<sup>-1</sup> e utilizada para expressar a massa de mil grãos. O número de grãos por espiga foi obtido através de relações entre a massa de mil grãos, a massa total de grãos e o número de espigas colhidas na área útil de cada unidade experimental. O número de grãos produzidos por área (m<sup>2</sup>) foi obtido através das relações entre o número de espigas por área, número de grãos nas espigas e densidade de plantas do ensaio.

A eficiência agrônômica do N (EAN) foi definida como a relação entre as diferenças no rendimento de grãos entre as subparcelas que receberam a aplicação de N e aquelas que não as receberam, dividida pela dose de N aplicada (HAYLIN et al., 2005). A diferença entre o rendimento de grãos nas unidades experimentais em que foi aplicado N e naquelas que não houve aplicação foi obtida dentro de cada estádio que foi procedida a desfolha.

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente pela análise de variância. Os valores de F para os efeitos principais e interações foram considerados significativos ao nível de significância de 5%. Quando alcançada significância estatística, as médias de cada tratamento foram comparadas utilizando o teste de Tukey, ao nível de significância de 5% para os fatores qualitativos e análise de regressão para os fatores quantitativos.

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.5.1 Dados meteorológicos

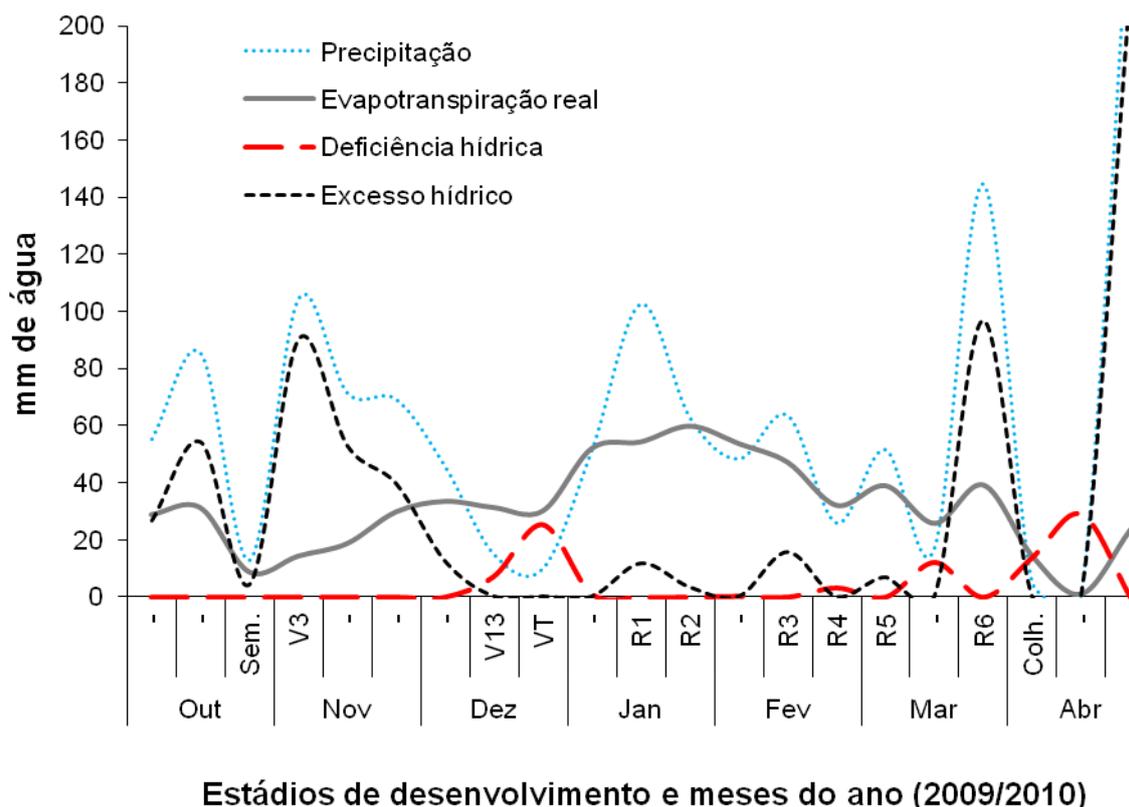
O ano agrícola 2009/10 apresentou características meteorológicas favoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento do milho na região de Lages. A temperatura média mensal do ar durante a estação de crescimento da cultura oscilou entre 16,9 no mês de outubro e 23,4 °C no mês de fevereiro (Tabela 1). O ano agrícola 2009/10 foi mais quente do que a média histórica da região, principalmente durante os períodos de florescimento e enchimento de grãos do milho (janeiro, fevereiro e março).

Tabela 1 - Temperatura média mensal do ar durante o ano agrícola de 2009/2010 e temperatura média entre outubro e abril de 1976 a 2009. Lages, SC.

Período	Meses do ano							Média do período
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	
Média entre 1976/2009 <sup>1</sup>	16,2	17,7	19,7	19,8	20,0	19,7	15,9	18,5
Estação de crescimento 2009/10	16,9	22,0	21,9	22,2	23,4	20,3	17,2	20,5

<sup>1</sup>Dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. – EPAGRI; Centro integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina – CLIMERH; Estação Agrometeorológica de Lages-SC.

As precipitações pluviais do ano agrícola 2009/2010 foram relativamente bem distribuídas situando-se ao redor de 61 mm por decêndio (Figura 1). No início de desenvolvimento e no final do ciclo da cultura houve excesso hídrico, superior a 80 mm. No segundo e terceiro decêndios de dezembro observou-se uma deficiência hídrica de aproximadamente 20 mm. Esta ocorreu num curto período de tempo, em que a cultura se encontrava entre os estádios V15 e VT da escala de Ritchie et al. (1993).



**Estádios de desenvolvimento e meses do ano (2009/2010)**

Figura 1 - Balanço hídrico da safra 2009/10 na área experimental durante o desenvolvimento do milho, segundo metodologia proposta por Thorntwaite e Mather (1955), considerando a capacidade de armazenamento de água no solo de 75 mm. Lages, SC.  
Conforme escala de desenvolvimento proposta por Ritchie et al (1993).

### 2.5.2 Área foliar e número de folhas verdes e senescência no florescimento

A área foliar remanescente no florescimento foi afetada pela interação entre o estágio de desenvolvimento do milho em que ocorreu a desfolha e a dose de N aplicada em cobertura (Tabela 2). A desfolha realizada em V8 reduziu a área foliar em relação às parcelas não desfolhadas, independentemente da dose de N aplicada. Na média das quatro doses de nitrogênio no tratamento das parcelas desfolhadas em V8, a área foliar do milho no florescimento foi de  $5.787 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ , equivalente a um IAF (índice de área foliar) superior a 4,0.

A área foliar remanescente nas parcelas desfolhadas em V15, na média das quatro doses de N, equivaliu a  $1.509,5 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ , uma redução de aproximadamente 80% da área foliar em relação às parcelas não desfolhadas, excluindo-se as folhas naturalmente já senescentes. Quando a desfolha ocorreu em VT foram eliminadas todas as folhas verdes do milho, não permanecendo folhas para atender a demanda dos grãos por fotoassimilados. O milho por apresentar hábito de crescimento determinado, depois de emitido os pendões,

completa seu crescimento vegetativo e não diferencia e expande novas folhas. Nessa fase, o milho é muito suscetível à perda completa de área foliar. Desta forma, a perda de área foliar antes do enchimento de grãos reduz a quantidade de radiação solar interceptada e assimilada necessários ao enchimento de grãos.

Assim como para os valores absolutos, verificou-se que a percentagem de área foliar remanescente no florescimento das parcelas não desfolhadas diferiu significativamente das parcelas desfolhadas em V8, V15 e VT, independentemente da dose de N aplicada em cobertura.

Tabela 2 - Área foliar remanescente por planta e percentagem de área foliar remanescente no florescimento do milho em relação às subparcelas sem desfolha, em função da época de desfolha e da aplicação de doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2009/10.

Dose de N (Kg ha <sup>-1</sup> )	Estádios de desfolha <sup>2</sup>			
	Sem desfolha	V8	V15	VT
Área foliar por planta no florescimento (cm <sup>2</sup> ) <sup>3</sup>				
0	7.430 a <sup>1</sup>	5.003 b	1.577 c	0 d
50	7.831 a	5.684 b	1.391 c	0 d
100	7.774 a	5.998 b	1.500 c	0 d
200	7.754 a	6.461 b	1.570 c	0 d
Área foliar (%) <sup>4</sup>				
0	100,0 a	67,8 b	21,3 c	0 d
50	100,0 a	72,6 b	17,8 c	0 d
100	100,0 a	77,4 b	19,3 c	0 d
200	100,0 a	83,8 b	20,6 c	0 d

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3</sup> CV = 9,1%.

<sup>4</sup> CV = 7,9%.

A área foliar remanescente no florescimento foi influenciada pela dose de N aplicada quando a desfolha foi realizada em V8 (Figura 2), observando-se um comportamento linear em função da dose. O incremento da área foliar observada neste tratamento foi de 6,9 cm<sup>2</sup> por Kg de nitrogênio aplicado em cobertura. Neste caso, o nitrogênio teve um efeito estimulante na regeneração da área foliar das plantas desfolhadas precocemente, confirmando a hipótese que originou o trabalho. Já nas desfolhas realizadas em V15 e VT não houve efeito estimulante da dose de N sobre a regeneração de área foliar da cultura. Nestes estádios fenológicos, o impacto do nitrogênio sobre a divisão e alongação celular nas folhas é potencialmente menor do que em V8. Isto foi provavelmente acentuado pela característica de super-precocidade do híbrido P32R22, a qual antecipa a diferenciação do primórdio floral e a expansão das folhas diferenciadas na fase vegetativa da cultura (SANGOI et al., 2007b).

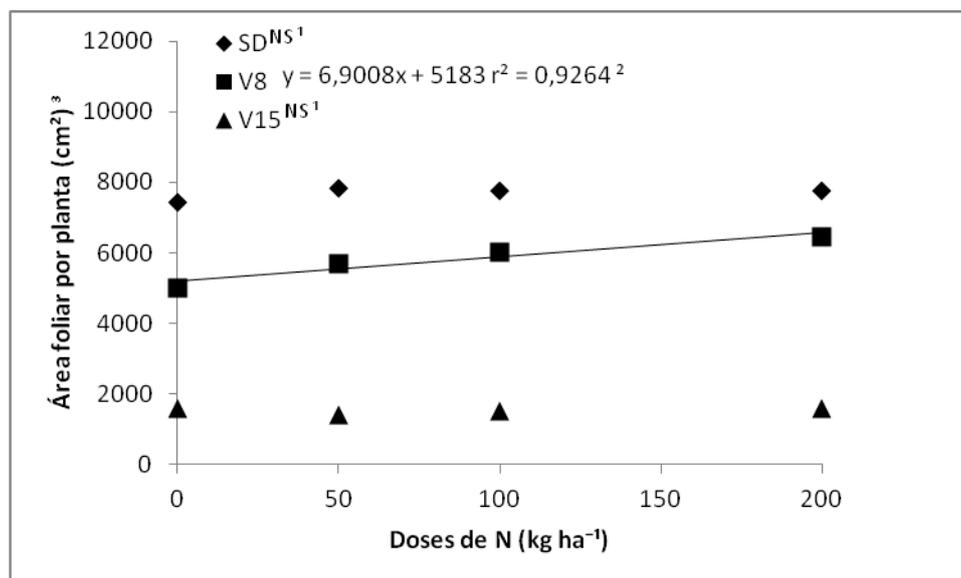


Figura 2 - Área foliar por planta remanescente no florescimento do milho, em função da época de desfolha e da dose de nitrogênio (N) aplicado em cobertura. Lages, SC, 2009/10.

<sup>1</sup> Não significativo ( $P < 0,05$ ).

<sup>2</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). No tratamento desfolha em VT (pendoamento) a área foliar foi igual a zero para todas as doses de N aplicadas. No tratamento sem desfolhas (SD), as folhas não foram removidas.

<sup>3</sup> CV = 9,1%.

O número de folhas verdes nos tratamentos sem desfolha e desfolhados em V8 foi semelhante, independentemente da dose de nitrogênio aplicada. Ele oscilou entre 10 e 12 folhas no espigamento para o tratamento sem desfolha e entre 10 e 11 folhas no tratamento com desfolha em V8 (Tabela 3). Nas parcelas desfolhadas em V15 permaneceram apenas seis folhas por planta. Não houve alteração do número total de folhas em função da dose de N aplicada em cobertura nos três estádios de desfolha. Isto ocorreu porque o número de folhas é uma característica que depende do genótipo e não do ambiente. Por outro lado, o incremento da dose de N aumentou a área foliar das plantas desfolhadas em V8 (Figura 2). Isto demonstra que o efeito mitigador de N, quando ocorre, se deve à presença de folhas verdes por mais tempo ou a maior expansão do limbo foliar e não da presença de um maior número de folhas.

Tabela 3 - Número de folhas verdes e senescidas por planta de milho, em função do estágio de desfolha e da aplicação de doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2009/10.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Estádios de desfolha <sup>2</sup>			
	Sem desfolha	V8	V15	VT
	Folhas verdes (n°) <sup>3</sup>			
0	10 a <sup>1</sup>	10 a	6 b	0 c
50	10 a	10 a	6 b	0 c
100	11 a	11 a	6 b	0 c
200	12 a	11 a	6 b	0 c
	Folhas senescidas (n°) <sup>4</sup>			
0	11 c	11 c	15 b	21 a
50	11 c	11 c	15 b	21 a
100	10 c	10 c	15 b	21 a
200	10 c	10 c	15 b	21 a

<sup>1</sup>Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup>V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3</sup>CV = 6,9%.

<sup>4</sup>CV = 2,6%.

Assim, o incremento do número de folhas verdes em função da dose nos tratamentos sem desfolha e desfolha em V8 deveu-se à redução do número de folhas senescidas. Neste caso, o incremento da dose de N diminuiu o número de folhas senescidas, permitindo que as mesmas se mantenham fotossinteticamente ativas por mais tempo. A longevidade foliar é incrementada pelo aumento do suprimento de nitrogênio no solo (RAJCAN e TOLLENAAR, 1999b) e a ausência de adubação nitrogenada acelera a senescência foliar após as plantas terem atingido seu máximo índice de área foliar (WOLSCHICK et al., 2003).

### 2.5.3 Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência agrônômica do nitrogênio

O rendimento de grãos variou de 415 a 10.260 kg ha<sup>-1</sup> dependendo do tratamento (Tabela 4). Não houve interação entre a dose de N aplicada em cobertura e o estágio de realização da desfolha no rendimento de grãos, porém, houve um aumento na produtividade de grãos conforme se aumentou a dose de N aplicada em cobertura nos tratamentos onde não houve desfolha e naqueles onde o milho foi desfolhado em V8. Apesar de produtividades acima da média nacional em alguns tratamentos, não se alcançou 12.000 kg ha<sup>-1</sup>, que era o desejado, mesmo no tratamento sem desfolha com aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura. Durante o período considerado mais crítico para a cultura do milho, que é a fase de

floração, houve um déficit hídrico de aproximadamente 20mm (Figura 1). Isto provavelmente foi um fator restritivo para que o teto de produtividade almejado não fosse alcançado.

Tabela 4 - Rendimento e percentagem de aumento no rendimento de grãos do milho em função do estágio de realização da desfolha e da dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura. Lages, SC, safra 2009/10.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Estádios de desfolha <sup>1</sup>			
	Sem desfolha	V8	V15	VT
	Rendimento de grãos (Kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>NS</sup>			
0	8.064	8.153	2.800	443
50	8.987	9.065	3.813	490
100	9.644	9.086	3.725	415
200	10.260	9.677	4.193	594
	Percentual de aumento no rendimento (%) <sup>NS</sup>			
0	-	-	-	-
50	11.4	11.2	36.2	10.6
100	19.6	11.4	33.0	-6.3
200	27.2	18.7	49.8	34.1

<sup>NS</sup> Interação não significativa.

<sup>1</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento. Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

CV=12,3%

O rendimento de grãos foi afetado pelos efeitos simples da época de desfolha e da dose de nitrogênio aplicada em cobertura. O milho demonstrou boa capacidade de regeneração foliar quando o estresse acometeu a cultura em V8 (Tabela 5). Desta forma, não foram detectadas diferenças no rendimento das unidades experimentais não desfolhadas e daquelas em que se removeram as oito primeiras folhas expandidas da planta, independentemente da dose de N aplicada. Apesar de ter ocorrido diferenças significativas na área foliar entre as parcelas não desfolhadas e aquelas desfolhadas em V8 (Tabela 2), o rendimento de grãos para ambas foi semelhante (Tabela 5). Este fato deveu-se provavelmente ao colmo que atuou como órgão equilibrador da limitação da fonte imposta pelo processo da desfolha. Assim, o colmo promoveu a remobilização de carboidratos de reserva para os grãos, contribuindo para o rendimento alcançado nas parcelas desfolhadas em V8. Na literatura, menciona-se a contribuição do colmo com um percentual no enchimento de grãos, que pode variar de 17% (UHART & ANDRADE, 1995) até 44% (RUGET, 1993).

A superfície da folha fotossinteticamente ativa em relação à unidade de superfície de solo é denominada de índice de área foliar (IAF). Tal parâmetro permite estimar o grau de desenvolvimento da planta e o potencial de interceptação de energia radiante. Ainda, o IAF que determina a taxa máxima de crescimento é conhecido como IAF crítico, o qual varia em

função do ambiente que a planta estiver submetida. Segundo Fancelli e Dourado Netto (2000), o rendimento de grãos e o número de grãos do milho aumentam proporcionalmente aos incrementos do IAF até valores variando entre 3 a 5, conforme resultados obtidos no cinturão do milho americano. Os valores de IAF obtidos na floração nas subparcelas não desfolhadas e desfolhadas em V8 foram respectivamente 5,5 e 4,1, ambos dentro da faixa considerada ótima para maximizar o rendimento de grãos.

A ausência de diferença no rendimento de grãos entre a testemunha com área foliar intacta e as parcelas desfolhadas em V8 confirmou os resultados obtidos por Vargas (2010). Isto ocorreu porque as folhas iniciais pouco contribuem para a definição do rendimento de grãos, como demonstrado nos trabalhos de Tsukahara e Kochinski (2008) e Lauer (2009), que não verificaram reduções significativas no rendimento de grãos quando as desfolhas ocorreram nas fases iniciais de desenvolvimento do milho.

Tabela 5 - Rendimento de grãos e componentes do rendimento do milho em função do estágio de realização da desfolha, na média de quatro doses de nitrogênio (N). Lages, SC, safra 2009/10.

Estádio de realização da desfolha <sup>2</sup>	Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	Grãos por espiga (n°) <sup>4</sup>	Grãos por m <sup>-2</sup> (n°) <sup>5</sup>
Sem Desfolha	9.239 a <sup>1</sup>	423 a	2.996 a
V8	8.995 a	425 a	2.953 a
V15	3.633 b	204 b	1.180 b
Pendoamento	486 c	94 c	281 c

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento. Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3</sup> CV= 12,3%.

<sup>4</sup> CV= 6,5%.

<sup>5</sup> CV= 8,7%.

Houve decréscimo no rendimento de grãos ocasionados pela desfolha em V15. Esta redução na produtividade foi maior do que a reportada por Vargas (2010). Isto provavelmente ocorreu em função das diferenças entre o ciclo dos genótipos utilizados nos dois ensaios. O híbrido utilizado no presente trabalho apresenta um ciclo super-precoce. Isto induz um menor número total de folhas produzidas, em relação ao híbrido AS 1565 de ciclo precoce testado por Vargas (2010). Além disso, no mesmo trabalho, o autor fez uma adubação nitrogenada de cobertura em V5 em toda a área. Este fato pode ter contribuído para uma menor redução na produtividade em relação ao presente trabalho. Como a adubação nitrogenada neste experimento foi realizada apenas quando as plantas se encontravam com 15 folhas totalmente

expandidas, o milho permaneceu muitos dias sem adubo. Como se utilizou um híbrido de ciclo super-precoce, a exigência do mesmo por nutrientes é mais rápida, pois o ciclo é mais curto. Assim, com a aplicação tardia do adubo, na época de maior necessidade da cultura pelo nitrogênio, o mesmo não foi fornecido às plantas, contribuindo para um menor rendimento de grãos.

A maior velocidade de crescimento vegetativo e de desenvolvimento das inflorescências masculina e feminina faz com que os materiais super-precoces sejam geralmente mais exigentes em condições edáficas e climáticas favoráveis para o adequado desenvolvimento das espigas (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000). Em razão dessas características morfofisiológicas, os híbridos super-precoces dispõem, em condições edafoclimáticas semelhantes, de uma menor superfície fotossinteticamente ativa do que os materiais mais tardios. Estes materiais dispõem de menos tempo para se recuperar de restrições ambientais impostas ao aparato fotossintético da planta nas fases de pré-floração, floração e início de enchimento de grãos. Assim, prejuízos impostos à fonte produtora de carboidratos podem reduzir o rendimento de grãos de materiais super-precoces mais drasticamente do que dos materiais de ciclo mais tardio (TOLLENAAR & DWYER, 1999). Com isto, o híbrido P32R22 se ressentiu bastante da retirada das quinze primeiras folhas da planta, pois permaneceram apenas seis folhas após a desfolha para atender a demanda dos grãos por fotoassimilados (Tabela 3).

Quando a desfolha foi feita no pendoamento, ocorreram as maiores reduções na produtividade, independentemente da dose de N aplicada (Tabela 5). O milho é mais suscetível à perda de área foliar fotossinteticamente ativa entre os estádios do pendoamento e espigamento do que em qualquer outra fase do seu ciclo (SANGOI et al., 2010). Neste estágio fenológico, com a remoção das folhas, a planta ficou desprovida de seu aparato fotossintético e não apresentou capacidade de regeneração. Por apresentar hábito de crescimento determinado, o milho não expande novas folhas após a floração. Assim, sem área para interceptar a energia fotossinteticamente ativa, o enchimento de grãos fica comprometido. Além disso, os estigmas com alto conteúdo de água ficam desprotegidos após a remoção das folhas, ocorrendo intensa desidratação e abortamento destas estruturas reprodutivas (VARGAS, 2010). Isto promoveu grande redução no número de grãos espiga<sup>-1</sup>, espigas m<sup>-2</sup> e massa de mil grãos (Tabela 5 e 6), confirmando resultados obtidos por Alvim et. al., (2010). Nesta fase, o nitrogênio não consegue auxiliar na recuperação do estresse ocasionado pela desfolha e o rendimento de grãos fica comprometido. Além do menor número de grãos por espiga ocasionado nas parcelas desfolhas em VT, houve nas mesmas uma menor massa de mil

grãos (Tabela 6). Segundo Wilhelm et al. (1995), estes são os componentes que mais influenciam no rendimento de grãos.

A redução da atividade fisiológica das principais fontes produtoras de carboidratos causada pela desfolha na fase reprodutiva interfere na redistribuição de fotoassimilados dentro da planta, alterando a velocidade e intensidade da senescência foliar, e, conseqüentemente, os padrões de acúmulo de matéria seca nos grãos (BARNETT & PEARCE, 1983; UHART & ANDRADE, 1995). Híbridos super-precoces, pelo fato de disporem de menos tempo para investirem no seu aparelho fotossintético e na formação das inflorescências, podem ter o acúmulo de matéria seca nos grãos mais comprometido por estresses impostos à planta na fase de florescimento, tais como a redução da relação fonte:dreno causada pela desfolha (FANCELLI & DOURADO NETO, 2000). A produtividade observada nos tratamentos desfolhados em VT provavelmente deveu-se à remobilização de carboidratos do colmo para a espiga. O colmo, além de suportar as folhas e partes florais, serve também como órgão de reserva. O armazenamento de carboidratos no colmo inicia após o crescimento vegetativo e prossegue até o início do enchimento de grãos. Durante este período, todo carboidrato é utilizado na formação de novas folhas, raízes e do próprio colmo. Os fotoassimilados são armazenados porque a fotossíntese não diminui, sendo o colmo um importante dreno da planta neste período (MAGALHÃES et al., 1995). Esta remobilização de açúcares promove redução da massa do colmo e favorece o acamamento (SANGOI et al., 2001).

Não houve efeito significativo da interação entre as doses de N aplicadas e o estágio em que a desfolha foi realizada sobre o rendimento de grãos (Figura 3). Esta informação diverge dos resultados encontrados por outros autores. Vargas (2010) observou que não houve diferença significativa de rendimento entre as parcelas desfolhadas em V15 e aquelas onde as folhas foram preservadas, quando se aplicou a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N. Nesse caso, o N auxiliou na recuperação do milho submetido ao estresse pela desfolha. Tsukahara e Kochinski (2008) detectaram que a reaplicação de N após uma desfolha de 25% durante vários estádios de desenvolvimento do milho proporcionou rendimentos similares aos tratamentos sem reaplicação de N. Por outro lado, analisando-se percentualmente os incrementos no rendimento propiciados pela cobertura nitrogenada, constata-se que as maiores percentagens de aumento na produtividade, em relação à testemunha sem N, ocorreram quando a cobertura foi feita após a desfolha em V15 (Tabela 4).

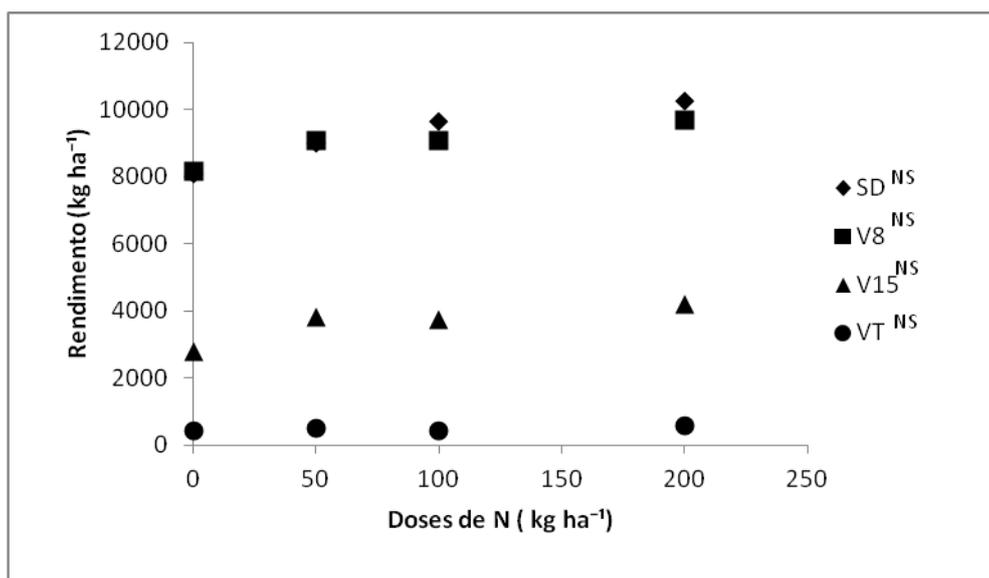


Figura 3- Efeito da dose de nitrogênio (N) sobre o rendimento de grãos do milho em três estádios fenológicos de desfolha e um tratamento sem desfolha. Lages, SC, 2009/10. ( $P < 0,05$ ).

V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993). No tratamento desfolha em VT (pendoamento) a área foliar foi igual a zero para todas as doses de N aplicadas. No tratamento sem desfolhas (SD), as folhas não foram removidas.

<sup>NS</sup> Equação não significativa.

CV=12,3%

Houve um aumento linear no rendimento de grãos do milho com o incremento da dose de N aplicada em cobertura, na média das três épocas de desfolha e de um tratamento sem desfolha (Figura 4). Este incremento foi de 6 kg de grãos por kg de N aplicado em cobertura.

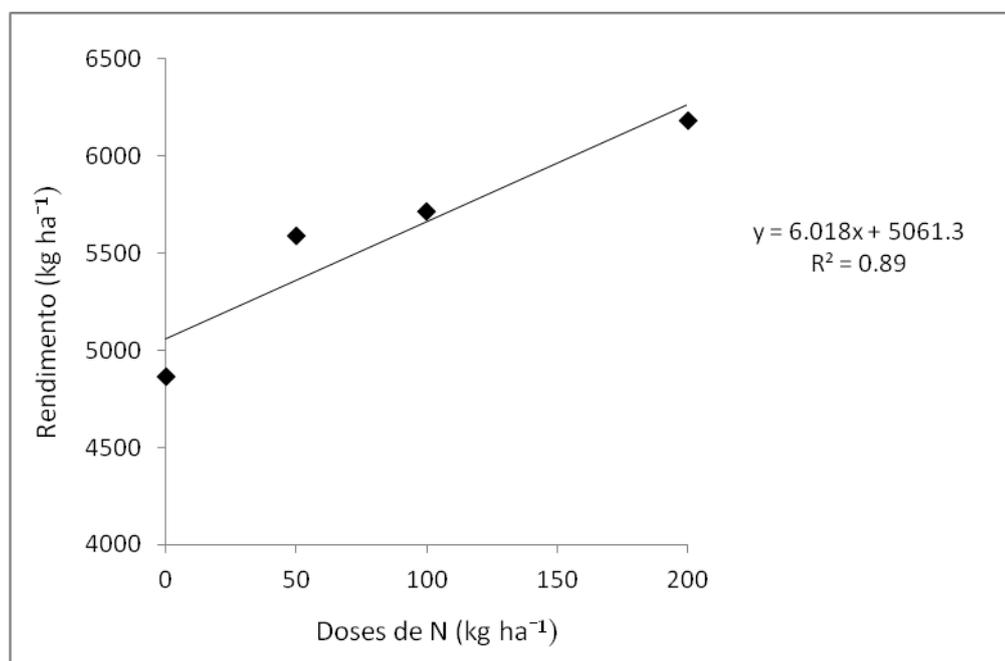


Figura 4 - Efeito da dose de nitrogênio (N) sobre o rendimento de grãos do milho, na média de três épocas de desfolha e um tratamento sem desfolha. Lages, SC, 2009/10. ( $P < 0,05$ ).

CV= 12,3%

Alguns fatores podem ser apontados para justificar a falta do efeito diferenciado do nitrogênio como elemento mitigador do estresse ocasionado pela desfolha em V8. O suprimento natural de N do solo, decorrente do seu alto teor de matéria orgânica, associado à aplicação de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de N na base, foram suficientes para atender a demanda de nitrogênio pela planta quando esta foi desfolhada precocemente em V8, minimizando os benefícios da aplicação de nitrogênio nesta fase. Outro fator que provavelmente reduziu o impacto de N sobre o rendimento de grãos nas desfolhas mais tardias (V15 e VT) foi a característica de super precocidade do híbrido P32R22, que acentuou os prejuízos ocasionados ao rendimento de grãos pelo menor número de folhas remanescentes para aproveitar o nitrogênio aplicado em cobertura.

A massa de mil grãos foi afetada pela interação entre a época de desfolha e a dose de nitrogênio aplicada. Independentemente da dose de N utilizada, não houve diferença na massa de mil grãos para os tratamentos sem desfolha, desfolha em V8 e desfolha em V15, apesar do rendimento ter sido maior na média das quatro doses nas parcelas sem desfolha e desfolhadas em V8 (Tabela 6). A determinação do número de grãos por fileira ocorre aproximadamente quando o milho encontra-se nos estádios V12 e V18, segundo escala proposta por Ritchie (1993). Se o número de grãos por fileira diminui, o número de grãos por espiga também diminui. Nas parcelas desfolhadas em V15 houve um número menor de grãos por espiga, pois o estresse da desfolha foi imposto exatamente quando o número de óvulos por fileira estava sendo determinado (Tabela 5). Este fato explica o menor rendimento de grãos destas parcelas, mesmo não havendo diferença entre a massa de mil grãos com as parcelas sem desfolha e aquelas desfolhadas em V8. Provavelmente a quantidade de fotossintatos que a planta produziu foi grande em relação ao número de grãos por espiga remanescentes. Assim, houve oferta de fotossintatos e poucos grãos para supri-la, obtendo-se grãos pesados, porém, em pequena quantidade. Mesmo com menor número de folhas, o colmo pode ter suprido as necessidades por fotoassimilados dos grãos. Isto está relacionado à sua atuação como órgão equilibrador da limitação imposta às folhas quando elas sofrem algum tipo de prejuízo, promovendo a remobilização de carboidratos de reserva armazenados neste órgão durante o enchimento de grãos (RUJET, 1993; UHART e ANDRADE, 1995; RACJAN & TOLLENAR, 1999; SANGOI et al., 2001).

A desfolha em VT propiciou a menor massa de grãos (Tabela 6), independentemente da dose de N aplicada. Na média das quatro doses, a massa de mil grãos quando o milho foi desfolhado em VT foi de 243 gramas, o que equivale a uma redução de 21%, em relação ao tratamento desfolhado em V15 (Tabela 6). As desfolhas na floração reduzem tanto a taxa de

crescimento dos grãos como o período efetivo de enchimento de grãos, resultando em menor massa dos grãos. Egharevba et al. (1976), avaliando níveis de desfolha após o florescimento, relataram que o componente mais afetado pela perda completa das folhas foi a massa dos grãos (12,7 a 53% de redução). Hunter et al. (1991), citado por Pereira (2007), reportaram que desfolha completa aos 20 dias após polinização resultou em curto período de enchimento de grãos, obtendo grãos com pesos significativamente menores que plantas não desfolhadas.

Tabela 6 - Massa de mil grãos em função do estágio de desfolha e da aplicação de doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2009/10.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Estádios de desfolha <sup>2</sup>			
	Sem desfolha	V8	V15	VT
	Massa de mil grãos (g) <sup>3</sup>			
0	295,8 a <sup>1</sup>	292,0 a	314,6 a	222,9 b
50	297,8 ab	297,1 ab	302,9 a	263,4 b
100	309,9 a	311,9 a	313,1 a	249,5 b
200	327,9 a	316,7 a	303,6 a	238,4 b

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05)

<sup>2</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento. Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3</sup> CV= 4,6%

Observou-se um aumento linear na massa de mil grãos nos tratamentos sem desfolha e desfolhadas em V8 com o incremento da dose de N aplicada em cobertura (Figura 5). Este incremento foi de 2,0 gramas no tratamento sem desfolha e 1,0 grama no tratamento desfolhado em V8 para cada 10 kg de N aplicado em cobertura. Não houve resposta na massa de mil grãos com a aplicação de N em cobertura nas parcelas desfolhadas em V15. No tratamento onde as plantas foram totalmente desfolhadas, houve uma resposta quadrática da massa de mil grãos, sendo a dose que maximizou a resposta de 108 kg ha<sup>-1</sup>.

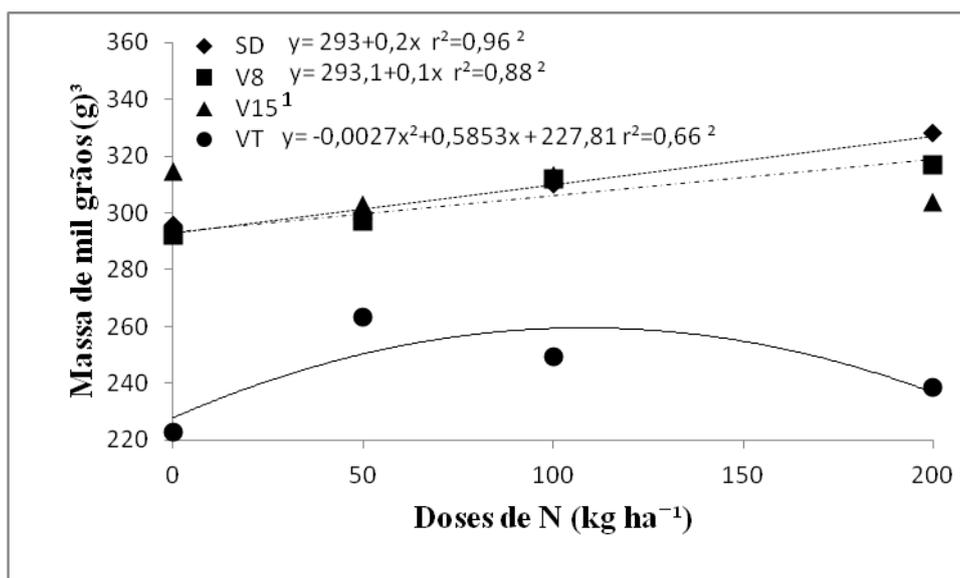


Figura 5 - Massa de mil grãos de milho em função do estágio de desfolha e da aplicação de doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2009/10.

<sup>1</sup>Equação não significativa.

<sup>2</sup>V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>2</sup>Equações significativas ( $P < 0,05$ ).

<sup>3</sup>CV=4,6%.

A grande redução na produtividade ocorrida nas parcelas desfolhadas em VT, em relação às parcelas sem desfolha e desfolhadas em V8, deveu-se também à alta esterilidade feminina (Tabela 7). Quando a desfolha ocorreu no pendoamento, aproximadamente 70% das plantas não produziram espigas com mais de 10 grãos, pois a eliminação da principal fonte produtora de fotoassimilados inibiu o desenvolvimento da inflorescência feminina, reduzindo, conseqüentemente, o número de grãos por espiga e de grãos m<sup>-2</sup> (Tabela 5). Egharevba et al. (1976) relataram que o número de grãos foi reduzido em 62%, quando todas as folhas foram retiradas 10 dias após o espigamento. Frey (1981) também observou que neste período a baixa oferta de carboidratos à planta afeta o número de grãos e o potencial de produção. Hanway (1969) detectou que a esterilidade feminina foi um componente relevante da redução no rendimento de grãos quando a desfolha ocorreu em VT. A remoção da área foliar influi na taxa fotossintética, altera o metabolismo das plantas, e reduz o conteúdo de sacarose e açúcares redutores, bem como o teor de amido nos grãos (SING e NAIR, 1975).

Tabela 7 - Características agronômicas do milho em função do estágio de desfolha, na média das quatro doses de nitrogênio (N). Lages, SC, 2009/10.

Características	Estádios de desfolha <sup>2</sup>				CV (%)
	Sem desfolha	V8	V15	VT	
Índice de espiga	1,0 a <sup>1</sup>	1,0 a	0,8 b	0,3 c	5,0
Esterilidade feminina (%)	0,7 c	1,5 c	20,2 b	70,2 a	23,7
Plantas quebradas (%)	15,4 a	7,7 b	1,4 c	0,6 c	46,3
Estatuta de plantas (m)	3,18 a	3,10 a	2,91 b	3,14 a	3,4
Inserção da espiga (m)	1,45 a	1,37 b	1,31 b	1,38 ab	4,2

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> V8 – oito folhas expandidas; V15 – quinze folhas expandidas; VT – pendoamento. Segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

Nas parcelas onde não houve desfolha, o número de plantas quebradas foi significativamente maior em relação aos outros tratamentos. Este resultado diverge do reportado por Vargas (2010), que encontrou maior número de plantas quebradas nas parcelas onde todas as folhas foram removidas. O híbrido utilizado no experimento foi um super-precoce. Estes materiais normalmente têm como característica possuírem estatura de planta reduzida, fato este, não observado neste experimento. A densidade utilizada no ensaio foi de 70.000 plantas ha<sup>-1</sup>, maior do que a usada por Vargas (2010) que foi de 55.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Devido a este acontecimento, o híbrido não se comportou de acordo com as suas características de super precocidade. A menor oxidação de auxinas decorrente da proximidade das plantas em densidades elevadas estimula a alongação celular (SALISBURY; ROSS, 1992). Neste caso, os entrenós do colmo são mais longos, aumentando a estatura da planta e a altura de inserção das espigas. Com isso, o centro de gravidade da planta fica mais desequilibrado, diminuindo sua sustentabilidade. A maior estatura de planta, a maior distância entre o ponto de inserção da espiga no colmo e o solo, o menor diâmetro do colmo em altas densidades favorecem o aumento da porcentagem de plantas quebradas antes da colheita (SANGOI et al., 2002). No caso das parcelas sem desfolha, houve um número maior de espigas e espigas pesadas (Tabelas 5 e 6). Este fato, aliado às outras características anteriormente mencionadas, pode ter contribuído para a maior porcentagem de plantas quebradas, pois a espiga serviu como um peso a mais à planta. Assim, ao ocorrerem ventos fortes, a planta tinha um fator adicional em relação aos outros tratamentos favorecendo a sua quebra.

A eficiência agronômica do N aplicado (EAN) foi alterada pela dose de N (Tabela 8). A dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou maior EAN. Geralmente, o aproveitamento de N pelo

milho de N proveniente de fertilizantes minerais decresce com o aumento da dose aplicada, pois o suprimento excede as necessidades da cultura, aumentando a probabilidade de perdas de nitrogênio para o solo através do processo de lixiviação ou para o ar através da volatilização e desnitrificação. Este fato pôde ser observado nas doses de 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicadas em cobertura.

Tabela 8 - Eficiência agrônômica do nitrogênio (N) aplicado (EAN)<sup>1</sup> em função da dose de N aplicada em cobertura, na média dos estádios de realização da desfolha do milho. Lages, SC, 2009/10.

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	EAN (kg kg <sup>-1</sup> )
0	-
50	14,4 a
100	8,5 ab
200	6,6 b

<sup>1</sup> EAN= (rendimento do tratamento com N – rendimento tratamento sem N)/ dose de N em cobertura (HAVLIN et al., 2005).

<sup>2</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05).

<sup>3</sup> CV= 20,1%.

## 2.6 CONCLUSÕES

Desfolhas realizadas em V8 não comprometem o rendimento de grãos do milho independentemente da dose de N aplicada em cobertura, em solos com teores elevados de matéria orgânica.

A aplicação de doses crescentes de nitrogênio fomentou a regeneração da área foliar na floração quando o milho foi desfolhado em V8.

Desfolhas realizadas em V15 e no pendoamento causam decréscimos na produtividade do milho, que não podem ser recuperados pela aplicação de N em cobertura.

O rendimento de grãos do milho aumentou com o incremento na dose de N independentemente do estádio de realização da desfolha.

### **3 FONTES E MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE N E ESTRESSE SALINO INDUZIDO PELA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA EM DOIS ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DO MILHO.**

#### **3.1 RESUMO**

A formulação de fertilizantes nitrogenados na forma de sal é importante para melhorar a estabilidade do elemento nitrogênio. Todavia, seu uso em altas doses, aplicadas a lanço, pode desidratar as folhas, ocasionando necrose e perda de área foliar, diminuindo o metabolismo e trazendo prejuízos ao rendimento final da lavoura. Este trabalho teve o objetivo de avaliar os efeitos de fontes e métodos de realização da adubação nitrogenada em cobertura sobre a ocorrência de fitotoxicidade e sua influência no rendimento de grãos do milho. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados dispostos em parcelas sub-subdivididas. Na parcela principal foram avaliadas duas fontes de N: nitrato de amônio e uréia. Nas subparcelas avaliaram-se, dois estádios fenológicos: cinco folhas expandidas (V5) e dez folhas expandidas (V10). E nas sub-subparcelas testaram-se quatro métodos de aplicação da cobertura nitrogenada: na linha de semeadura via sólida, na linha de semeadura via fluída, a lanço, em grânulos, sem e com molhamento foliar. Adicionalmente, avaliou-se um tratamento sem adubação nitrogenada em cobertura. Foram realizadas avaliações da área foliar verde e necrosada aos dois, 10 e 30 dias após a cobertura nitrogenada. No florescimento, avaliou-se a área foliar verde. Depois da colheita, avaliaram-se o rendimento de grãos e seus componentes e a eficiência agronômica do N. As aplicações próximas à linha de semeadura não ocasionaram morte de tecido foliar e proporcionaram os maiores rendimentos de grãos, independentemente da fonte e da época de aplicação de N. A presença de molhamento foliar não aumentou os prejuízos ao rendimento de grãos ocasionados nos tratamentos onde o N foi aplicado a lanço. A fitotoxicidade ocasionada nas aplicações de fertilizantes nitrogenados a lanço foi mais durável quando realizada em V10. A aplicação de nitrato de amônio a lanço causou maior percentagem de plantas multiespigadas e com esterilidade feminina do que a uréia. A intensidade do efeito da fitotoxicidade sobre o rendimento de grãos do milho depende da fonte de fertilizante nitrogenado, da área foliar submetida ao contato físico com o adubo e do método de aplicação da cobertura nitrogenada.

**Palavras-chave:** *Zea mays*. Fitotoxicidade. Área foliar. Cobertura nitrogenada.

### 3.2 ABSTRACT

The salty formulation of N fertilizers is important to improve nitrogen stability. However, its use in high rates broadcasted over the plants can dehydrate leaves, causing necrosis and leaf area loss, slowing metabolism and decreasing crop grain yield. This study aimed to evaluate the effects of sources and methods of nitrogen side-dressing on the occurrence of phytotoxicity and its influence on maize grain yield. The experimental design was a randomized block arranged in split split-plot. Two nitrogen sources were evaluated: ammonium nitrate and urea. Each source was applied at two growth stages: five expanded leaves (V5) and ten expanded leaves (V10). Four methods of nitrogen side-dress were evaluated at each growth stage: solid fertilization in the row, fluid fertilization in the row, solid fertilization broadcasted over the plants with and without moisture on the leaves. A control treatment without nitrogen side-dress was also assessed. Green and necrotic leaf area were determined two, 10 and 30 days after nitrogen fertilization. Leaf area at flowering, grain yield and its components, and agronomic efficiency of N were also estimated. Nitrogen fertilization close to the sowing row did not cause tissue death and promoted higher grain yield, regardless of the source and timing of N application. The presence of moisture on the leaves did not decrease grain yield in treatments where N was broadcasted over the plants. The phytotoxicity caused nitrogen broadcasting was more durable when performed at V10. The application of ammonium nitrate promoted higher percentage of multi-eared and barren plants than urea. The intensity of phytotoxicity on grain yield depends on nitrogen fertilizer source, amount of leaf area subjected to physical contact with the fertilizer and method of nitrogen side-dressing.

**Key-words:** *Zea mays*. Phytotoxicity. Leaf area. Nitrogen side-dress.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira atravessa uma fase na qual, mais do que em qualquer época, é justificável o esforço para a verticalização da produção, objetivando atingir ganhos de produtividade que permitam tornar o processo produtivo mais rentável, a fim de que os agricultores continuem em suas atividades. Neste contexto, entre outros fatores, a prática da adubação assume lugar de destaque, sendo responsável por uma grande parte nos ganhos de produtividade das culturas, necessitando ser feita do modo mais eficiente possível.

A adubação com fertilizantes minerais é uma prática de grande importância na agricultura moderna. Ela representa uma forma rápida e eficiente para melhorar as características químicas do solo, principalmente no que se refere ao aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas cultivadas. O sucesso de uma boa adubação resulta da combinação de alguns fatores importantes, dos quais podem ser destacados: características físicas e químicas do solo, teor de nutriente e doses utilizadas, época de aplicação e eficiência de distribuição.

As atividades agrícolas se caracterizam atualmente por sistemas de produção que induzem ao uso intensivo do solo e de insumos. Atualmente, as etapas de diagnóstico da fertilidade do solo, interpretação da análise de solo e consequente recomendação de adubação, já são bastante discutidas. Assim, é importante que se tenha maior preocupação com a tecnologia de aplicação empregada na distribuição de fertilizantes, a fim de maximizar a sua eficiência, pois estes, quando aplicados na lavoura de maneira incorreta, podem comprometer o rendimento das colheitas e causar desperdício dos fertilizantes, tornando-os pouco eficientes.

Dentre as práticas de adubação, a adubação nitrogenada é de grande importância para culturas como o milho, pois o nitrogênio é considerado um dos fatores de produção responsável pelo aumento da produtividade e da proteína dos grãos (TSAI et al. 1992).

O milho é uma cultura que remove grandes quantidades de nitrogênio e usualmente requer o uso de adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo, quando se deseja produtividades elevadas (COELHO et al., 1991). Na falta de N, o processo de divisão celular é retardado nos pontos de crescimento, resultando em redução da área foliar e do tamanho da planta (ARNON, 1975), com reflexos no rendimento de grãos. Assim, o manejo da adubação nitrogenada deve ser capaz de atender à demanda da planta nos períodos críticos, maximizar a eficiência de utilização de N e minimizar o impacto nocivo ao ambiente pela redução de perdas.

O nitrogênio é um dos elementos essenciais para as plantas. O N é extraído em grandes quantidades pelo milho. Bull (1993) e Fancelli (2000) relatam extrações superiores a 20 kg de N para cada tonelada de grãos produzidos. A sua absorção e assimilação pelas plantas resulta na conversão de assimilados em massa seca e afeta a produtividade da cultura. É o nutriente que mais limita a produção de massa seca pela planta e, conseqüentemente, a produtividade de grãos (MUZILLI & OLIVEIRA, 1992). A importância do adequado suprimento de N às plantas está associada ao fato deste nutriente ser constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucléicos, fitocromo e da clorofila

(CANTARELLA, 1993). Além disto, a sua disponibilidade no solo afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (SCHODER et al., 2000). Portanto, a limitação da disponibilidade de N constitui-se numa das causas determinantes da redução do rendimento de grãos, por ser o nutriente absorvido em maior quantidade e por apresentar uma dinâmica muito complexa no solo (CERETTA, 1998).

Outra característica importante da aplicação de N na cultura do milho é que a mesma aumenta a qualidade física do grão. Tsai et al. (1992) concluíram que houve aumento no teor de proteína com a aplicação de nitrogênio, sendo que este aumento foi acompanhado pelo incremento na quantidade de zeína presente no endosperma. Segundo estes autores, o aumento da proteína produz grãos mais duros, menos quebradiços e mais translúcidos, porque quando aumenta o teor de proteínas nos grãos, a fração correspondente à zeína aumenta sua proporção na proteína. Outro benefício da aplicação de N é o aumento do tamanho do embrião que tem melhor balanço de aminoácidos do que o endosperma (BHATIA & RABSON, 1987). Segundo estes autores, isto é importante para balancear o valor biológico da proteína, já que a zeína contém baixa quantidade de dois aminoácidos essenciais mais limitantes, a lisina e o triptofano. Kelling & Fixen (1992) relataram que as sínteses de proteína e de amido nos cereais competem por fotoassimilados durante o período de enchimento de grãos e quando a necessidade de N para o rendimento é satisfeita, o N é usado para aumentar a concentração de proteína. Desta forma, na carência de N, os fotossintatos que seriam convertidos em proteínas são usados na síntese de carboidratos. Bulman & Smith (1993) em cevada, e Ohm (1976) em aveia, obtiveram aumentos significativos na concentração de proteína nos grãos com a ampliação da disponibilidade de N. Entre cultivares, a resposta à fertilização nitrogenada pode ser diferenciada (OHM, 1976).

Porém, as repostas do milho em relação à aplicação de nitrogênio dependem de vários fatores químicos, físicos e biológicos que condicionam a disponibilidade do N à cultura. Como fator químico pode-se citar a perda de N pelo processo de volatilização de  $\text{NH}_3$  proveniente da mineralização do fertilizante aplicado, sendo este considerado um processo rápido (DIEST, 1988), e a desnitrificação que é o fenômeno de transformação de nitratos e outras substâncias em gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), sendo liberadas para a atmosfera pela ação de bactérias desnitrificantes reduzindo a disponibilidade de N para as culturas (AULAKN et al., 1992). A imobilização do N pela biomassa microbiana, principalmente em semeadura direta, pode ser vista como fator biológico e o processo de lixiviação onde o nitrogênio é perdido através do perfil do solo devido a precipitações, como um fator físico.

Segundo o Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004), no sistema convencional, recomenda-se aplicar entre 10 a 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura, dependendo da expectativa de rendimento, e o restante em cobertura, quando as plantas estão com quatro a oito folhas ou com 40 a 60 cm de altura. Já no plantio direto, recomenda-se aplicar entre 20 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura, quando o cultivo for feito sobre resíduos de gramíneas, e entre 10 a 15 kg ha<sup>-1</sup> de N quando o cultivo for feito sobre resíduos de leguminosa. Neste caso, recomenda-se que a maior parte do fertilizante nitrogenado seja aplicado no início do período de maior demanda da cultura pelo nutriente que, segundo Ritchie et al. (1993), está compreendido entre os estádios V5 e V10, quando a planta possui de cinco a dez folhas totalmente expandidas.

O manejo da cobertura nitrogenada é uma estratégia eficiente para maximizar a produção na cultura do milho, já que este nutriente é aquele que apresenta maior resposta de incremento ao rendimento de grãos (SILVA et al., 2006) e o que mais responde em condições limitantes. Porém, em alguns casos, o uso de altas doses de N na forma de sais, sob condições climáticas inadequadas, pode gerar prejuízos à planta. A formulação de fertilizantes nitrogenados na forma de sal é importante para melhorar a estabilidade do elemento nitrogênio (VARGAS et al., 2009). Todavia, seu uso em altas doses, aplicadas a lanço, pode desidratar as folhas, ocasionando necrose e perda de área foliar, diminuindo o metabolismo e trazendo prejuízos ao rendimento final da lavoura.

Atualmente há uma tendência em se realizar a aplicação a lanço de fertilizantes em área total, tendo em vista os benefícios operacionais obtidos com esta prática, mesmo sob condições não adequadas para o fertilizante, como altas temperaturas, e para a cultura, como a presença de orvalho sobre as folhas. Isto ocorre porque o produtor procura aproveitar as melhores condições climáticas para entrar na lavoura. Quando efetuado em pré-semadura, a aplicação a lanço dos fertilizantes aumenta a capacidade operacional no momento da semeadura. Já nas aplicações feitas em cobertura após a emergência da cultura, a vantagem da capacidade operacional pode não compensar os prejuízos causados por esta prática devido à imprecisão da mesma, pois muitas vezes as condições climáticas não coincidem com aquelas necessárias ao manejo de fertilizantes aplicados em cobertura. Esta falta de sintonia pode levar a perdas na cultura do milho. A ocorrência dessas perdas pode ser por razões diretas, devido a saída de nitrogênio do sistema pelo processo de volatilização de NH<sub>3</sub> ou lixiviação (LARA CABEZAS et al., 1997; DA ROS et al., 2005), ou indiretas, através do efeito fitotóxico dos fertilizantes nitrogenados aplicados sobre a área foliar do milho. Além disso, os

fertilizantes nitrogenados são a maior fonte de poluição ambiental dos sistemas agrícolas (MACHADO & MAGNAVACA, 1991).

Apesar de existirem muitos trabalhos que retratam o manejo adequado destes fertilizantes, as referências sobre os estresses causados pelo uso inadequado de sais nitrogenados em cobertura no milho são escassas. As indicações para uso da uréia preconizam que esta seja aplicada anteriormente a precipitações, como forma de evitar perdas por volatilização pelas temperaturas altas e menor umidade relativa do ar. A chuva, portanto, solubiliza o sal que estava sobre as folhas, visto que com a aplicação mecânica de fertilizantes em cobertura, uma grande quantidade do adubo fica na parte superior das folhas. Dependendo da área foliar do dossel, o nutriente acaba descendo pelo perfil do solo. Entretanto, em alguns casos a chuva não acontece ou ocorre em quantidade insuficiente para solubilizar todo o sal. Nestas situações, há perdas de N por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e o tecido foliar acaba desidratando e necrosando. Normalmente, este uso inadequado do adubo não mata a planta. No entanto, o milho permanece com as folhas necrosadas por muitos dias, dependendo da dose aplicada e do estágio de desenvolvimento da planta.

A fitotoxicidade foliar causada pelo adubo nitrogenado ocorre pelo contato físico entre o adubo e as folhas. O uso destes fertilizantes em altas doses na aplicação a lanço pode provocar injúrias nas folhas, levando à necrose e perda de área foliar, diminuindo o metabolismo e trazendo prejuízos ao rendimento da lavoura de milho. Estes prejuízos dependerão da quantidade de fertilizante acumulado sobre as folhas, da presença de umidade sobre a superfície foliar e das condições climáticas prevalecentes durante e após a aplicação. É recomendável fazer a aplicação dos fertilizantes quando não houver deposição de orvalho sobre as folhas, pois para a uréia ocorre aceleração da hidrólise e aumenta-se a probabilidade de ocorrência de toxidez por  $\text{NH}_3$ . Além disso, a umidade sobre as folhas funciona como veículo para solubilização dos sais. O biureto é considerado um contaminante da uréia (MIKKELSEN, 1990). A presença de concentrações superiores a 1,5% do mesmo na uréia pode ser tóxica para as culturas. Mesmo assim, a uréia é considerada por alguns autores entre as fontes de N, a de menor potencial fitotóxico (POOLE et al., 1983; KROGMEIER et al., 1989). O nitrato de amônio, além do maior índice salino, possui mais pó em relação à uréia. Na presença de umidade, ele apresenta maiores chances de ocasionar necrose foliar, pois fixa mais nas folhas.

O efeito tóxico de altas concentrações de N pode ser atribuído ao acúmulo de  $\text{NH}_4^+$  nos tecidos foliares, pois o mesmo é uma forma tóxica para o tecido vegetal. Além disso, segundo Lopez et al. (2003) e Nicolai et al. (2006), o potencial fitotóxico do N é aumentado

quando o intervalo da aplicação de herbicidas do grupo das sulfoniluréias e da adubação nitrogenada não é respeitado. Como a aplicação de nitrogênio em cobertura apresenta alta relação custo/benefício, pelo aumento no rendimento de grãos que pode promover, ela tem amplo uso pelos agricultores. Por isso, o estudo da fitotoxicidade foliar ocasionada pela aplicação de fertilizantes nitrogenados é extremamente importante para a obtenção de uma agricultura mais sustentável. Os danos ocasionados pela fitotoxidez dos fertilizantes dependem da capacidade de regeneração das folhas. Assim, é provável que os danos ocorrendo nas primeiras fases de desenvolvimento da cultura, a capacidade de regeneração seja maior. A fonte de N utilizada e a dose aplicada também interferem na magnitude dos danos. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de fontes e métodos de aplicação da adubação nitrogenada de cobertura sobre a ocorrência de fitotoxicidade foliar e sua influência no rendimento de grãos do milho.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, durante o ano agrícola de 2009/10, no distrito de Santa Terezinha do Salto, localizado a 20 km da cidade de Lages, no Planalto Sul de Santa Catarina. As coordenadas geográficas da área experimental são 27°50'35" de latitude Sul e 50°29'45" de longitude oeste e altitude de 849 metros. De acordo com a classificação de Koppen, o clima da região é do tipo Cfb, mesotérmico, com verões brandos, temperaturas médias do mês mais quente inferiores a 22°C e precipitações pluviais bem distribuídas.

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2006). Segundo análise da fertilidade do solo realizada em setembro de 2009, ele apresentava 420 g kg<sup>-1</sup> de argila; 51,0 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; pH H<sub>2</sub>O 5,5; índice SMP 5,7; 5 mg dm<sup>-3</sup> de P; 0,50 cmolc kg<sup>-1</sup> de K; 5,9 cmolc kg<sup>-1</sup> de Ca; 2,8 cmolc kg<sup>-1</sup> de Mg; 0,3 cmolc kg<sup>-1</sup> de Al e 15,3 cmolc kg<sup>-1</sup> de CTC.

Foram testadas duas fontes de N para aplicação em cobertura: uréia [(CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>; 45% de N)], índice salino 75 e nitrato de amônio [(NH<sub>4</sub> NO<sub>3</sub>; 35% de N)], índice salino 105. A dose usada em cobertura foi 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, seguindo as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, para obter um teto produtivo de 12.000 kg ha<sup>-1</sup> (CQFS-RS/SC, 2004). Os fertilizantes nitrogenados foram aplicados em cobertura em dois estádios fenológicos da cultura: quando as plantas apresentavam cinco e dez folhas totalmente expandidas, correspondendo aos estádios V5 e

V10 da escala proposta por Ritchie et al., (1993). Para cada um dos estádios, o N foi aplicado de quatro modos distintos: aplicação do fertilizante líquido na linha de semeadura (fertilizante granulado diluído em água), aplicação do fertilizante granulado na linha de semeadura, aplicação do fertilizante granulado a lanço sem molhamento foliar e aplicação do fertilizante granulado a lanço com molhamento foliar. Na aplicação do fertilizante líquido na linha, foram diluídos 186,7g de uréia e 250,7g de nitrato de amônio em dois litros de água aplicados em seis metros lineares correspondente ao comprimento de cada linha nas parcelas, equivalendo a uma vazão de  $4.762 \text{ l ha}^{-1}$ . No tratamento com molhamento foliar foram pulverizados previamente a aplicação dos fertilizantes nitrogenado 3,6 litros de água para 6 metros lineares, equivalendo a uma chuva de 3 mm sendo os mesmos aplicados imediatamente após a pulverização. Adicionalmente, avaliou-se um tratamento sem adubação nitrogenada em cobertura.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, dispostos em parcelas sub-subdivididas, com quatro repetições. As fontes de N foram testadas nas parcelas principais, os estádios fenológicos nas subparcelas e os métodos de aplicação da adubação nitrogenada em cobertura nas sub-subparcelas. Cada sub-subparcela foi composta por quatro linhas de seis metros de comprimento, espaçadas entre si por 0,7 m, tendo como área útil as duas linhas centrais, perfazendo  $8,4 \text{ m}^2$ .

O genótipo utilizado foi o híbrido simples P32R22, da empresa Pioneer Sementes. As principais características deste material são o ciclo super precoce, elevado potencial produtivo e elevada capacidade de compensação de espigas (PIONEER SEMENTES, 2010).

Em meados de maio de 2009 procedeu-se a semeadura de aveia preta (*Avena strigosa*), utilizando-se  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de sementes para cobertura verde. A cobertura resultou em  $2.600 \text{ kg ha}^{-1}$  de massa seca por ocasião da dessecação realizada no início do mês de setembro, 40 dias antes da semeadura.

A semeadura do milho foi realizada no dia 21 de outubro de 2009, no sistema de semeadura direta, sobre restos culturais de aveia preta. A operação foi realizada utilizando-se semeadoras manuais, reguladas para distribuir três a quatro sementes por cova igualmente espaçadas. Utilizou-se excesso de sementes para obter população de  $70.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ . No momento da semeadura, o arranjo entre as plantas foi obtido utilizando-se barbantes marcados com as distâncias corretas entre as plantas. A distância utilizada entre as covas foi de 20 cm.

Previamente à semeadura, as sementes foram tratadas com inseticida à base de fipronil+tiametoxam ( $10 + 42 \text{ g ha}^{-1}$  de i.a.), para controle de pragas de solo na emergência do milho. Quando as plantas estavam no estádio V3, procedeu-se o desbaste do excesso de

plantas, deixando-se apenas uma planta por cova, para alcançar a população almejada. Para acompanhamento da precipitação, foram instalados dois pluviômetros na área experimental, que eram constantemente vistoriados, anotando-se os valores das precipitações ocorridas na área.

O controle de plantas daninhas foi efetuado com duas aplicações de herbicida. A primeira foi feita em pré-emergência das plantas daninhas, no dia da semeadura, com uma mistura de atrazina e s-metolaclor ( $1.400 + 2.100 \text{ g ha}^{-1}$  de i.a.). A segunda aplicação foi realizada em pós-emergência quando as plantas de milho estavam no estágio V3, utilizando o produto tembotriona ( $100 \text{ g ha}^{-1}$  de i.a.). O controle de plantas daninhas que surgiram posteriormente foi feito com capinas manuais nas entrelinhas do milho.

A adubação na semeadura foi realizada com nitrogênio, fósforo e potássio. As doses aplicadas foram baseadas na fertilidade do solo e nas recomendações para a cultura do milho de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004), visando uma produtividade de  $12.000 \text{ kg ha}^{-1}$ . As fontes de P e K foram o superfosfato triplo (46%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e o cloreto de potássio (60%  $\text{K}_2\text{O}$ ), nas quantidades equivalentes a  $245 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $110 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Para o N foi utilizado como fertilizante a uréia (45% N), na dose equivalente a  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ . Os fertilizantes foram distribuídos superficialmente a 20cm das linhas de cultivo, paralelamente à operação de semeadura. A adubação de cobertura foi realizada conforme os tratamentos, aplicando-se os fertilizantes nitrogenados em cada uma das épocas desejadas, de acordo com o método determinado pelo tratamento.

As aplicações da cobertura foram realizadas em dias sem nebulosidade. As temperaturas médias dos dias de aplicação da cobertura foram  $20,5^\circ\text{C}$  e  $25^\circ\text{C}$ . O horário de aplicação, próximo ao meio dia, foi escolhido para que não coincidissem com a existência de orvalho natural.

Para determinar o efeito fitotóxico dos fertilizantes nitrogenados aplicados de diferentes modos, quantificaram-se a área foliar necrosada e a área foliar verde dos tratamentos aos dois, 10 e 30 dias após a aplicação da cobertura nitrogenada, em cada um dos dois estádios de aplicação. Para estimar a área foliar necrosada mensuraram-se aquelas folhas que tinham mais de 50% de sua área morta (Figura 6).



Figura 6 – Folha considerada verde (esquerda) e folha considerada necrosada (direita). Lages, SC, 2009/10.

Estimou-se a área foliar verde e a necrosada de cinco plantas da segunda fileira de cada unidade experimental. As plantas utilizadas foram selecionadas ao acaso dentro da sub-subparcela, em função de sua uniformidade morfológica e fenológica. Para identificação destas plantas utilizou-se a marcação da extremidade da quarta, oitava, décima segunda e décima sexta folhas da planta com tinta preta lavável, para se ter maior precisão, já que estas folhas serviram como referenciais.

A área foliar foi obtida de acordo com metodologia descrita por Tollenaar (1992). Foram medidos o comprimento (C) e a maior largura (L) de todas as folhas fotossinteticamente ativas, com pelo menos 50% de sua área foliar verde, de acordo com critério utilizado por Borrás et al., (2003) e daquelas que sofreram efeito fitotóxico dos fertilizantes. A área foliar por planta (A), expressa em  $\text{cm}^2$ , foi estimada aplicando-se a seguinte expressão:  $A = C \times L \times 0,75$ , onde o valor 0,75 é um coeficiente de correção, uma vez que as folhas não têm área retangular. O somatório das áreas de todas as folhas necrosadas e de todas as folhas verdes correspondeu, respectivamente, a área foliar necrosada e a área foliar verde do indivíduo, em cada época de aplicação. Determinaram-se a proporção entre área foliar necrosada e verde nos mesmos períodos de tempo, a recuperação da área foliar pela quantidade de área foliar necrosada e a área foliar emitida desde a emergência do milho até aos dois, 10 e 30 dias após aplicação do N em cobertura.

Quantificou-se a área foliar remanescente no florescimento, de acordo com o método previamente descrito, utilizando-se as medições anteriores somadas à área foliar que surgiu depois de 30 dias após a aplicação de N em cobertura para as duas épocas. Contou-se neste estágio também o número de folhas necrosadas por senescência natural, para que se obtivesse por diferença a área foliar verde remanescente no florescimento. A mesma foi expressa como área foliar verde por planta em  $\text{cm}^2$ .

A estatura de planta e a altura de inserção da espiga foram determinadas entre os estádios R2 e R3, segundo escala proposta por Ritchie et al., (1993). Foram utilizadas seis plantas com homogeneidade morfológica e fenológica para estas determinações. A estatura de planta correspondeu à medida da distância do colo da planta à extremidade do pendão. A distância entre o colo da planta e o nó em que a espiga superior estava inserida correspondeu à altura de inserção da espiga.

Antes da colheita determinaram-se as percentagens de plantas acamadas, quebradas, sem espigas, multiespigadas e o número de espigas produtivas por planta (índice de espiga). A percentagem de acamamento foi calculada dividindo-se o número de plantas acamadas pelo número total de plantas da área útil multiplicado por cem. Consideraram-se acamadas as plantas cujo colmo formava um ângulo com a superfície do solo inferior a  $45^\circ$ . Consideraram-se quebradas as plantas que apresentavam ruptura do colmo abaixo da espiga. Para avaliação da esterilidade feminina, consideraram-se como espigas produtivas aquelas que tinham mais de 10 grãos formados. O índice de espigas foi obtido dividindo-se o número de espigas colhidas pelo número de plantas existentes na área útil das unidades experimentais.

Quando todas as folhas das plantas estavam senescidas e a umidade dos grãos encontrava-se entre 18 e 22%, procedeu-se a colheita manual das espigas. Para avaliação do rendimento de grãos e seus componentes (número de grãos por espiga, número de grãos  $\text{m}^2$  e massa de mil grãos) foram consideradas todas as plantas da área útil. As espigas foram colhidas e trilhadas em trilhadora estacionária. Os grãos foram acondicionados em estufa, sob ventilação e temperatura de aproximadamente  $65^\circ\text{C}$ , até atingirem massa constante. Os pesos obtidos da massa seca de grãos colhidos na área útil das subparcelas foram convertidos para um hectare, na umidade padrão de  $130 \text{ g kg}^{-1}$ , determinando-se assim o rendimento de grãos. Uma subamostra de 400 grãos inteiros por tratamento foi separada e pesada. Esta subamostra foi submetida à secagem em estufa regulada para  $105^\circ\text{C}$  por 72 horas. Depois de ser determinada a massa seca, esta foi então multiplicada pelo fator 2,5, convertida para  $130 \text{ g kg}^{-1}$ , e utilizada para expressar o peso de mil grãos. O número de grãos por espiga foi obtido através de relações entre o peso de mil grãos, peso total de grãos e o número de espigas

colhidas na área útil de cada unidade experimental. O número de grãos produzidos por área ( $m^2$ ) foi obtido através das relações entre o número de espigas por área, número de grãos nas espigas e densidade de plantas do ensaio.

A eficiência agronômica do nitrogênio (EAN) foi calculada com base no rendimento de grãos. Foi determinada como o produto da relação entre a diferença no rendimento de grãos produzido nas sub-subparcelas com aplicação de N e naquelas sem N, dividido pela dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N utilizada no ensaio. A EAN foi expressa em quilogramas de grãos produzidos por quilograma de N aplicado em cobertura

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Os valores de F para efeitos principais e interações foram considerados significativos ao nível de significância de 5% ( $P < 0,05$ ). Quando os valores de F foram significativos ( $P < 0,05$ ), as médias de cada tratamento foram comparadas entre si utilizando-se o teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1 Recuperação da área foliar e área foliar no florescimento

A área foliar verde medida aos dois dias após a aplicação da cobertura nitrogenada foi afetada pelo estágio de aplicação dos fertilizantes, sendo de 389 e  $2.880 \text{ cm}^2$  quando o milho estava com cinco e dez folhas totalmente expandidas, respectivamente (Tabela 9). Houve um incremento de aproximadamente sete vezes na área foliar. Apesar de expandir apenas o dobro do número de folhas de V5 para V10, estas são mais compridas e mais largas, aumentando assim, a superfície foliar. A área foliar necrosada dois dias após a aplicação foi influenciada pelo método de aplicação. As aplicações a lanço, na média de duas fontes e duas épocas, aumentaram a área foliar necrosada por planta em relação às aplicações feitas na linha.

Tabela 9 - Área foliar verde e necrosada em relação à área foliar total aos dois dias após a cobertura com nitrogênio (N), em função da fonte, da época e do método de aplicação de N, em milho. Lages, SC, 2009/10.

	Área foliar verde (cm <sup>2</sup> ) <sup>5</sup>	Área foliar necrosada (cm <sup>2</sup> ) <sup>6</sup>
Fertilizante		
Uréia	1.665 <sup>NS1</sup>	8,9 <sup>NS1</sup>
Nitrato de amônio	1.604	17,9
----- Estádio de aplicação <sup>3/</sup>		
V5 <sup>3</sup>	389 b <sup>2</sup>	4,1 <sup>NS1</sup>
V10	2.880 a	22,7
----- Método de aplicação		
LI ga <sup>4</sup>	1.658 <sup>NS1</sup>	3,8 b
LI liq	1.619	2,2 b
LA SMF	1.663	11,6 ab
LA CMF	1.597	36,1 a

<sup>NS1</sup> Diferenças não significativas pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>3</sup> V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4</sup> LI ga - Aplicação de nitrogênio granulado na linha

LI liq - Aplicação de nitrogênio líquido na linha

LASMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem molhamento foliar

LACMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço com molhamento foliar

<sup>5</sup> CV= 9,4%

<sup>6</sup> CV= 105%

A área foliar verde medida aos dez dias após aplicação de N em cobertura foi influenciada pelas interações entre fonte de N e método de aplicação e época e método de aplicação (Tabela 10). Na média das duas épocas de aplicação, verificou-se que o uso de nitrato de amônio em aplicações a lanço, sem a presença de molhamento foliar, reduziu a área foliar verde, em comparação às aplicações de uréia no mesmo tratamento. Quando o fertilizante aplicado foi a uréia, não houve diferença entre os métodos aplicados. Porém quando se aplicou nitrato, a aplicação a lanço sem a presença de molhamento foliar diminuiu significativamente a área foliar verde por planta. A área foliar verde expandida dos dois até os dez dias após a aplicação do nitrato de amônio a lanço com a presença de molhamento foliar foi reduzida em torno de 29%. Isto indica que mesmo não havendo diferenças no tratamento com a presença de molhamento foliar em relação aos tratamentos onde o N foi aplicado na linha aos dez dias após a aplicação nitrogenada, o nitrato de amônio apresentou potencial fitotóxico, estando as plantas com as folhas molhadas ou secas.

Quando a aplicação dos fertilizantes foi feita em V5, não se observou diferenças na área foliar verde medida aos dez dias após a aplicação entre os métodos, na média de duas

fontes de N. Porém em V10, no tratamento onde aplicou o fertilizante a lanço sem a presença de molhamento foliar, ocorreu redução da área foliar verde. Em relação aos estádios de aplicação de N, fixando os métodos, houve diferença entre os mesmos. Esta diferença ocorreu devido à planta em V10 estar num estágio mais avançado apresentando maior área foliar.

Tabela 10 – Área foliar verde aos 10 dias após a aplicação de nitrogênio (N) em função da fonte de N, do estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2009/10.

Método de Aplicação	Área foliar verde (cm <sup>2</sup> ) <sup>4</sup>	
	Fertilizante	
	Nitrato de amônio	Uréia
LI ga <sup>2</sup>	A 1.185 a <sup>1</sup>	A 1.522 a
LI liq	A 1.411 a	A 1.207 a
LA SMF	B 669 b	A 1.244 a
LA CMF	A 1.129 a	A 1.237 a
Método de Aplicação	Estádio de aplicação <sup>3</sup>	
	V5	V10
	LI ga	A 676 b
LI liq	A 659 b	A 1.959 a
LA SMF	A 610 b	B 1.302 a
LA CMF	A 607 b	A 1.758 a

<sup>1</sup> Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> LI ga - Aplicação de nitrogênio granulado na linha

LI liq - Aplicação de nitrogênio líquido na linha

LA SMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem molhamento foliar

LA CMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço com molhamento foliar

<sup>3</sup> V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4</sup> CV= 29%.

O nitrato de amônio causou maior fitotoxicidade foliar quando foi aplicado a lanço, dez dias após a aplicação, independentemente da presença ou não de molhamento foliar (Tabela 11). A presença de água na superfície foliar não aumentou os danos ocasionados às folhas pelas aplicações a lanço com nitrato de amônio. Isto contrariou a hipótese de que os efeitos fitotóxicos dos fertilizantes ocorreriam apenas em condições de molhamento sobre as folhas. Observou-se, especialmente para o nitrato de amônio, que a fitotoxicidade não está condicionada à presença de molhamento sobre as folhas. Os sintomas de fitotoxicidade ocasionados pela uréia foram pouco persistentes e a área foliar pôde ser restabelecida nos estádios subsequentes.

Não houve diferença entre os métodos quando o N foi aplicado em V5 (Tabela 11). Nas aplicações feitas a lanço, houve um aumento na área foliar necrosada em V10, em relação aos tratamentos onde o N foi aplicado na linha de semeadura. Provavelmente neste estágio, o potencial fitotóxico do adubo foi maior, devido a maior área foliar presente no tratamento.

Tabela 11 – Área foliar necrosada aos 10 dias após a aplicação de nitrogênio (N) em função da fonte de N, do estádio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2009/10.

Método de Aplicação	Área foliar necrosada (cm <sup>2</sup> ) <sup>4</sup>	
	Fertilizante	
	Nitrato de amônio	Uréia
LI ga <sup>2</sup>	B 37 a <sup>1</sup>	A 0,0 a
LI liq	B 0,0 a	A 0,0 a
LA SMF	A 579 a	A 0,0 b
LA CMF	A 350 a	A 18,5 b
Método de Aplicação	Estádio de aplicação <sup>3</sup>	
	V5	V10
	LI ga	A 37 a
LI liq	A 0,0 a	B 0,0 a
LA SMF	A 53 b	A 525 a
LA CMF	A 51 b	A 318 a

<sup>1</sup> Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> LI ga - Aplicação de nitrogênio granulado na linha

LI liq - Aplicação de nitrogênio líquido na linha

LA SMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem molhamento foliar

LA CMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço com molhamento foliar

<sup>3</sup> V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4</sup> CV= 92,8%.

A proporção de área foliar necrosada em relação à área foliar emitida aos 10 dias após a aplicação dos fertilizantes em cobertura foi afetada pela interação entre métodos e fontes de N (Tabela 12). Na média das duas épocas de aplicação, o uso de nitrato de amônio a lanço reduziu nos tratamentos com e sem a presença de molhamento foliar 26,7 e 46,4%, respectivamente, a área foliar verde. Já as aplicações de uréia a lanço reduziram no máximo 1,8% da área foliar verde emitida neste período.

Tabela 12 - Efeito da fonte e do método de aplicação de nitrogênio (N) em cobertura sobre a proporção de área foliar necrosada medida aos dez dias após a aplicação dos fertilizantes, em relação à área foliar emitida na média de dois estádios de aplicação. Lages, SC, safra 2009/10.

Método de aplicação	Proporção de área foliar necrosada (%) <sup>3</sup>	
	Nitrato de amônio	Uréia
LI ga <sup>2</sup>	A 3,0 a <sup>1</sup>	A 0,0 a
LI liq	A 0,0 a	A 0,0 a
LA SMF	B 46,4 b	A 0,0 a
LA CMF	B 26,7 b	A 1,8 a

<sup>1</sup> Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> LI ga - Aplicação de nitrogênio granulado na linha

LI liq - Aplicação de nitrogênio líquido na linha

LA SMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem molhamento foliar

LA CMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço com molhamento foliar

<sup>3</sup> CV= 91%

A área foliar verde medida aos trinta dias após a aplicação de N foi afetada pelo efeito simples da fonte, método e época de aplicação (Tabela 13). A área foliar acumulada 30 dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em V5 e V10 foi de 4.748 e 3.478 cm<sup>2</sup>, respectivamente, na média de fontes e métodos de aplicação. A menor área verde observada no tratamento em V10 provavelmente ocorreu devido ao efeito fitotóxico do adubo utilizado. Neste estágio, a capacidade de recuperação da planta foi menor em relação a V5. Além disso, as folhas expandidas a partir de V5 trinta dias após a aplicação obtêm área foliar total maior do que as folhas expandidas em V10 após o mesmo período. Quando o milho se encontra entre três e cinco folhas totalmente expandidas, ocorre a definição do número de folhas que a planta irá emitir ao longo do seu ciclo (RITCHIE et al. 1993). Provavelmente a aplicação dos fertilizantes não afetou a diferenciação das folhas, pois a área foliar verde em V5 trinta dias após aplicação foi maior.

Quando o fertilizante utilizado foi a uréia, observou-se maior área foliar verde em relação a aplicação de nitrato, na média de duas épocas e de quatro métodos de aplicação de N (Tabela 13). Provavelmente o maior índice salino do nitrato de amônio causou maiores danos as folhas. Nos tratamentos em que os fertilizantes foram aplicados a lanço, houve redução da área foliar verde. Isto reforça o fato de que adubos aplicados a lanço, reduzem a área fotossintética da planta prejudicando o seu rendimento, conforme também foi constatado por Vargas (2010).

Tabela 13 - Área foliar verde aos 30 dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados em cobertura, em função da fonte, estágio fenológico e do método de aplicação de nitrogênio (N) em cobertura. Lages, SC, 2009/10.

		Área foliar verde (cm <sup>2</sup> ) <sup>4</sup>
Fertilizante	Uréia	4.322 a <sup>1</sup>
	Nitrato de amônio	3.824 b
Estádio de aplicação <sup>2</sup>	V5	4.768 a
	V10	3.478 b
Método de aplicação	LI ga <sup>3</sup>	4.128 ab
	LI liq	4.420 a
	LA SMF	3.961 b
	LA CMF	3.981 b

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3</sup> LI ga - Aplicação de nitrogênio granulado na linha

LI liq - Aplicação de nitrogênio líquido na linha

LA SMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem molhamento foliar

LA CMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço com molhamento foliar

<sup>4</sup> CV= 10%

A área foliar necrosada medida aos trinta dias após aplicação de N em cobertura foi influenciada pelas interações entre fonte de N e método de aplicação e época e método de aplicação (Tabela 14). O uso de nitrato de amônio a lanço, na ausência de molhamento foliar sobre as folhas, foi mais fitotóxico que a uréia. O efeito tóxico do nitrato de amônio a lanço sobre a área foliar do milho sem a presença de molhamento foliar foi de aproximadamente 21 vezes maior do que o efeito da uréia para o mesmo tratamento. A presença de água sobre as folhas não potencializou o efeito fitotóxico do nitrato de amônio sobre as folhas trinta dias após a aplicação do fertilizante.

Quando as plantas se encontravam em V10, houve maior área foliar necrosada com a aplicação do adubo a lanço. A menor capacidade de regeneração da área foliar observada em V10 está provavelmente relacionada ao maior acúmulo de fertilizante sobre o cartucho foliar. Além disto, em V10 as folhas do cartucho estão mais expostas, recebendo maiores quantidades de adubo. Elas são maiores em tamanho e largura, do que aquelas que recebem o acúmulo de fertilizante quando a planta está com cinco folhas expandidas.

Tabela 14 – Área foliar necrosada aos 30 dias após a aplicação de nitrogênio (N) em função da fonte de N, estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2009/10.

Método de aplicação	Área foliar necrosada (cm <sup>2</sup> ) <sup>4</sup>	
	Fertilizante	
	Nitrato de amônio	Uréia
LI ga <sup>2</sup>	B 0,0 a <sup>1</sup>	A 0,0 a
LI liq	B 0,0 a	A 0,0 a
LA SMF	A 260 a	A 12 b
LA CMF	AB 193 a	A 85 a
Método de aplicação	Estádio de aplicação <sup>3</sup>	
	V5	V10
	LI ga	A 0,0 a
LI liq	A 0,0 a	B 0,0 a
LA SMF	A 5,9 b	A 266 a
LA CMF	A 0,0 b	A 278 a

<sup>1</sup> Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> LI ga- Aplicação de nitrogênio granulado na linha

LI liq - Aplicação de nitrogênio líquido na linha

LA SMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem molhamento foliar

LA CMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço com molhamento foliar

<sup>3</sup> V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4</sup> CV= 105%.

Os números de folhas verdes e senescidas no florescimento foram afetados pelo efeito simples da fonte de N utilizada (Tabela 15). Com a aplicação de nitrato de amônio observou-se um número maior de folhas senescidas e menor de folhas verdes em relação à uréia. Neste

caso, o nitrato de amônio foi mais fitotóxico, reduzindo assim a área foliar fotossinteticamente ativa das plantas.

Tabela 15 - Número de folhas verdes e necrosadas no florescimento em função da fonte de N na média de quatro métodos e de duas épocas de aplicação de nitrogênio. Lages, SC, safra 2009/10.

Fonte de N	Número de folhas	
	Verdes <sup>2</sup>	Necrosadas <sup>3</sup>
Uréia	12,5 a <sup>1</sup>	8,5 b
Nitrato de amônio	12,0 b	9,0 a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05)

<sup>2</sup> CV= 4,9%

<sup>3</sup> CV= 7,1%

A área foliar verde medida no florescimento foi afetada pelo efeito simples da fonte, método e época de aplicação (Tabela 16). Observou maior efeito fitotóxico do nitrato de amônio à área foliar do milho em relação à uréia. A aplicação de nitrato de amônio reduziu em torno de 7% a área foliar no florescimento, em relação ao uso da uréia, na média de dois estádios fenológicos e de quatro métodos de aplicação de N (Tabela 16). A menor área foliar no florescimento para este tratamento deveu-se à fitotoxicidade foliar. A uréia aplicada mostrou-se menos fitotóxica do que o nitrato de amônio. Contudo, deve-se ressaltar que o híbrido utilizado apresentou folhagem exuberante. Assim, mesmo em condições que propiciaram redução da área foliar, ele chegou ao florescimento com mais de 8.100 cm<sup>2</sup> de folhas verdes por planta em todos os tratamentos.

A aplicação da cobertura nitrogenada em V5 propiciou maior área foliar verde no florescimento que em V10 (Tabela 16). No tratamento em que se aplicou N em V10, observou uma menor capacidade de regeneração da área foliar. Neste estádio, a aplicação de nitrogênio não auxilia na diferenciação de novas folhas e pode ser tardia para aumentar o crescimento foliar. A partir de cinco folhas, todas as folhas que a planta irá produzir já estão diferenciadas. Assim, as aplicações de N após este estádio não influenciam mais o número de folhas.

Em todas as avaliações de área foliar realizadas, o nitrato de amônio foi mais fitotóxico que a uréia. Esta informação legitima as de outros autores que verificaram que a uréia é a fonte de N de menor potencial causador de fitotoxidez (ROSOLEM & BOARETTO, 1989). O maior potencial fitotóxico de nitrato de amônio é atribuído ao fato de que este fertilizante é mais salino e com partículas mais finas que a uréia. Fertilizantes com alto índice salino causam murcha ou morte de plantas porque a alta afinidade dos componentes pela água leva à desidratação do tecido da planta (Vargas, 2010). Além disso, ocorre ruptura da integridade de membranas, produção de moléculas tóxicas como espécies de oxigênio reativo

e morte celular (TAIZ e ZEIGER, 2009). A característica do nitrato de amônio de ser mais finamente moído que a uréia provavelmente potencializa o maior efeito salino deste fertilizante, já que aumenta a solubilidade do mesmo e permite que a desidratação do tecido seja mais rápida. Apesar de a uréia ser um sal com menor índice salino e seus danos à área foliar terem sido menores que os do nitrato de amônio, deve-se destacar que as aplicações a lanço deste fertilizante produziram sintomas de fitotoxicidade.

Tabela 16 - Área foliar verde no florescimento, em função da fonte, estágio fenológico e do método de aplicação de nitrogênio (N) em cobertura. Lages, SC, 2009/10.

		Área foliar verde (cm <sup>-2</sup> ) <sup>4</sup>
Fertilizante	Uréia	8.879 a <sup>1</sup>
	Nitrato de amônio	8.215 b
Estádio de aplicação <sup>2</sup>	V5	8.971 a
	V10	8.124 b
Método de aplicação	LI ga <sup>3</sup>	8.776 a
	LI liq	8.926 a
	LA SMF	8.116 b
	LA CMF	8.371 ab

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>3</sup> LI ga - Aplicação de nitrogênio granulado na linha

LI liq - Aplicação de nitrogênio líquido na linha

LA SMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem molhamento foliar

LA CMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço com molhamento foliar

<sup>4</sup> CV= 7,8%

### 3.5.2 Estatura de planta, altura de inserção da espiga e multiespigamento

A estatura de planta e a altura de inserção de espiga não foram afetadas pelos tratamentos testados no experimento. O multiespigamento foi influenciado pelas interações entre fonte de N e método de aplicação e época e método de aplicação (Tabela 17). As causas da ocorrência de multiespigamento ainda são desconhecidas. Contudo, as aplicações de nitrato de amônio feitas a lanço, com ou sem a presença de molhamento foliar, ocasionaram maior percentagem de plantas multiespigadas, em relação as aplicações feitas na linha de semeadura. Além disso, a percentagem de plantas multiespigadas foi maior nas aplicações a lanço com nitrato de amônio, em relação ao mesmo tratamento feito com uréia. No caso da uréia não houve diferenças entre os métodos estudados. Não há relatos na literatura de que o

nitrato de amônio causa multiespigamento. Mas provavelmente o mesmo aplicado a lanço potencializou este efeito.

Quando as plantas estavam com cinco folhas totalmente expandidas, a aplicação de nitrato de amônio ocasionou maior percentagem de plantas com multiespigamento do que a aplicação feita com uréia. Em V10 não se observou este efeito. O multiespigamento (Figura 6) decorre da quebra de dominância da espiga em desenvolvimento sobre as gemas laterais existentes no ramo condensado abaixo dela. Com isto, várias gemas deste ramo lateral se desenvolvem em pseudoespigas, que diminui a produção de grãos e limita o rendimento (SANGOI, 2010). As espigas potenciais que uma planta de milho pode produzir são diferenciadas entre V5 e V10 (RITCHIE et al., 1993). Isto pode ter explicado o fato de que na aplicação de nitrato de amônio em V5 a percentagem de plantas multiespigadas foi maior que em V10. Provavelmente no estágio fenológico V5, a aplicação do nitrato interferiu na diferenciação das gemas axilares das espigas, aumentando a percentagem de plantas multiespigadas. A uréia por possuir efeito fitotóxico menor que o nitrato de amônio, não causou diferenças entre os estádios fenológicos estudados em função da aplicação.

Tabela 17 – Proporção de plantas multiespigadas em função da fonte de N, estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2009/10.

Método de Aplicação	Proporção de plantas multiespigadas (%) <sup>4</sup>	
	Fertilizante	
	Nitrato de amônio	Uréia
LI ga <sup>2</sup>	B 10,3 a <sup>1</sup>	A 3,3 a
LI liq	B 8,8 a	A 3,2 a
LA SMF	A 22,7 a	A 5,2 b
LA CMF	A 24,3 a	A 5,6 b
	Estádio de aplicação <sup>3</sup>	
Fonte de N	V5	V10
Nitrato de amônio	A 22,9 a	A 10,1 a
Uréia	B 4,1 a	A 4,5 b

<sup>1</sup> Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> LI ga - Aplicação de nitrogênio granulado na linha

LI liq - Aplicação de nitrogênio líquido na linha

LA SMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem molhamento foliar

LA CMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço com molhamento foliar

<sup>3</sup> V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4</sup> CV= 64,6%.



Figura 7 - Vista geral de uma planta de milho multiespigada. Lages, SC, 2009/10.

### 3.5.3 Rendimento de grãos, componentes do rendimento e eficiência agrônômica do nitrogênio.

O rendimento de grãos variou de 6.158 a 11.261 Kg ha<sup>-1</sup>, dependendo do tratamento utilizado (Tabela 18). Apesar de não ter ocorrido interação entre as variáveis testadas, os rendimentos de grãos nos tratamentos onde os fertilizantes foram aplicados a lanço foram superiores em relação à média nacional independentemente da fonte de N utilizada.

Tabela 18 - Rendimento de grãos em função do método de aplicação, estágio de aplicação e da fonte de N aplicada em cobertura. Lages, SC, safra 2009/10.

Fonte de N	Método de Aplicação							
	Na Linha <sup>1</sup>				A lanço			
	V5		V10		V5		V10	
	GA	LIQ	GA	LIQ	SMF	CMF	SMF	CMF
	Rendimento de grãos (Kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>NS</sup>							
Uréia	9.794	9.562	11.261	10.712	9.666	8.905	8.678	10.357
Nitrato	7.310	8.760	10.807	9.919	6.158	6.444	7.427	8.269

<sup>NS</sup> Efeito não significativo

<sup>1</sup> LI ga - Aplicação de nitrogênio granulado na linha

LI liq - Aplicação de nitrogênio líquido na linha

LA SMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem molhamento foliar

LA CMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço com molhamento foliar

CV: 13,3%

O rendimento de grãos foi afetado pelos efeitos simples do método de aplicação de nitrogênio em cobertura e da fonte de N utilizada. Nas aplicações realizadas na linha de semeadura, tanto na forma sólida quanto na forma diluída em água, o rendimento de grãos foi maior do que nos tratamentos onde a aplicação de nitrogênio foi feita á lanço com ou sem a presença de molhamento foliar, independentemente da fonte de N utilizada (Tabela 19). Borges et al. (2006), avaliando duas fontes de N (sulfato de amônio e uréia), não detectaram diferenças no rendimento do milho entre as fontes testadas aplicando-as na linha de semeadura. A aplicação dos fertilizantes nitrogenados próximos às linhas de semeadura do milho não ocasionam fitotoxicidade foliar e, por isso não interferem na produtividade de grãos. Apesar da maior expectativa de perdas no rendimento com a aplicação de uréia pela mesma ser mais volátil que o nitrato, não houve diferença entre o nitrato de amônio e a uréia quando ambos foram aplicados a lanço.

O menor rendimento observado nos tratamentos onde o N foi aplicado a lanço deveu-se provavelmente a fitotoxicidade foliar causada pelo efeito salino do adubo, visto que não se observaram diferenças entre as fontes de N nas aplicações feitas na linha. No caso da uréia, o processo de perda de N por da volatilização de NH<sub>3</sub> proveniente da mineralização do fertilizante aplicado, facilitado pela aplicação do adubo feita a lanço, foi o principal fator da redução do rendimento. A uréia sobre as folhas fica mais exposta a perdas. Além da menor disponibilidade de N no solo devido à perda causada pela volatilização, a necrose do tecido foliar ocasionada pelo mesmo processo favoreceu a diminuição do rendimento de grãos por reduzir a área fotossintética da planta. Com menor área foliar, há menor interceptação da

radiação fotossinteticamente ativa. Isto reduz o metabolismo e a produção de fotoassimilados, pois a fonte de produção e remobilização de açúcares está prejudicada. Além disso, o fertilizante tende a acumular-se principalmente na região central da folha necrosando a nervura central, comprometendo a remobilização de açúcares, mesmo em folhas que tenham menor área foliar necrosada.

Tabela 19- Rendimento de grãos e componentes do rendimento do milho em função do método de aplicação de nitrogênio em cobertura, na média de duas fontes e dois estádios fenológicos de aplicação. Lages, SC, 2009/10.

Método de Aplicação	Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>3</sup>	Grãos por espiga (n°) <sup>4</sup>	Massa de 1000 grãos (g) <sup>5</sup>	Grãos por área (m <sup>2</sup> ) <sup>6</sup>
LI ga <sup>2</sup>	9.793 a <sup>1</sup>	390 a	360 a	2.893 a
LI liq	9.738 a	383 a	358 a	2.637 ab
LA SMF	7.982 b	232 b	360 a	2.464 b
LA CMF	8.494 b	353 ab	353 a	2.059 c

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> LI ga - Aplicação de nitrogênio granulado na linha

LI liq - Aplicação de nitrogênio líquido na linha

LA SMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem molhamento foliar

LA CMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço com molhamento foliar

<sup>3</sup> CV= 13,3%

<sup>4</sup> CV= 7,6%

<sup>5</sup> CV= 4,5%

<sup>6</sup> CV= 8,6%

A aplicação de uréia propiciou maior rendimento de grãos e maior número de grãos por espiga do que a aplicação de nitrato de amônio, na média das duas épocas e dos quatro métodos de aplicação (Tabela 20). O nitrato de amônio, mesmo sendo menos volátil que a uréia, tem maior índice salino. Este fato contribuiu para o maior efeito fitotóxico às folhas do milho quando o mesmo foi aplicado a lanço. Estes resultados corroboram aqueles encontrados por Vargas (2010), que encontrou diferenças no rendimento entre as fontes testadas (nitrato de amônio e uréia) quando a aplicação do adubo foi feita a lanço, sendo o maior efeito fitotóxico encontrado quando se aplicou nitrato de amônio.

Tabela 20 - Efeito da fonte de nitrogênio sobre o rendimento de grãos e os componentes do rendimento, na média de quatro métodos e dois estádios de aplicação. Lages, SC, safra 2009/2010.

Fonte	Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	Grãos por espiga (n°) <sup>3</sup>	Peso de 1000 grãos (g) <sup>4</sup>	Grãos por área (m <sup>2</sup> ) <sup>5</sup>
Uréia	9.867 a <sup>1</sup>	395 a	360.5 a	2.636 a
Nitrato	8.137 b	330 b	355.8 a	2.390 a

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> CV= 13,3%

<sup>3</sup> CV= 7,6%

<sup>4</sup> CV= 4,5%

<sup>5</sup> CV= 8,6%.

A aplicação de uréia sobre a superfície foliar molhada não é recomendada, pois a presença de água sobre a folha acelera a hidrólise e as altas temperaturas subseqüentes à aplicação dos tratamentos são fatores que predispõem a maiores perdas de N (BREMNER e MULVANEY, 1978). Além disso, ela provoca desidratação do tecido pelo aumento da pressão osmótica extracelular, influenciando a saída de água das células, o rompimento de membranas e a morte da célula (TAIZ e ZEIGER, 2009). Este efeito não foi observado neste trabalho onde não houve diferenças no rendimento dos tratamentos com e sem a presença de molhamento foliar quando a uréia foi aplicada a lanço. Provavelmente as condições climáticas reinantes no momento da aplicação tenham interferido neste processo, sendo que a aplicação do fertilizante foi feita próxima ao meio dia, em dias sem nebulosidade e com temperaturas próximas a 20°C. O mesmo pode ser observado para o nitrato de amônio, pois apesar da hipótese de que o mesmo aplicado a lanço com a presença de molhamento foliar pela maior solubilização do sal causaria maiores danos, não ocorreu diferenças nos tratamentos com e sem a presença de molhamento foliar no presente trabalho. As condições climáticas na hora da aplicação possivelmente aceleraram a evaporação da umidade na superfície da folha, diminuindo o efeito simulado de orvalho na solubilização dos fertilizantes aplicados a lanço.

O número de grãos espiga<sup>-1</sup> foi influenciado pelo método de aplicação da cobertura nitrogenada. As aplicações a lanço, independentemente da presença de umidade sobre as folhas, reduziram este componente do rendimento, em comparação às aplicações na linha (Tabela 19). O componente do rendimento grãos por área comportou-se de modo semelhante ao rendimento de grãos e foi influenciado pelo método de aplicação de N em cobertura. Corroborando as observações feitas por Andrade et al. (1996), pode-se dizer que estas duas variáveis explicam em grande parte o comportamento do rendimento de grãos do milho, pois não houve efeito dos tratamentos na massa de mil grãos. Assim, onde as produções de grãos

por espiga e por área foram menores, o rendimento de grãos também foi menor. Por isto, nos tratamentos onde as fontes de N foram aplicadas a lanço, ocorreram as maiores perdas de produtividade.

O rendimento de grãos na testemunha sem N na cobertura foi de 8.460 kg ha<sup>-1</sup>. Este valor é 13,4% menor do que o registrado nos tratamentos aplicados próximos à linha de semeadura via sólida e via fluída, na média das duas fontes de N e duas épocas de aplicação. Ele está dentro da expectativa de redução reportado por outros autores, que citam uma faixa de decréscimo entre 14,5 e 55,4% no rendimento de grãos do milho pela supressão da adubação nitrogenada (PRESTERL et al., 2003; FERRO et al., 2007). Deve-se destacar que os tetos produtivos registrados no experimento foram elevados em relação à produtividade de milho no Brasil. A média geral foi de 9.001 kg ha<sup>-1</sup>, 104% superior a média nacional. Isto demonstra que apesar da fitotoxicidade registrada em alguns tratamentos, as condições edafoclimáticas, de manejo e da arquitetura de planta do híbrido utilizado propiciaram boa capacidade de regeneração da área foliar nos estádios subseqüentes, o que redundou em rendimentos de grãos superiores a 9.000 kg ha<sup>-1</sup>.

A percentagem de plantas sem espigas foi influenciada pelas interações entre fonte de N e método de aplicação e época e método de aplicação (Tabela 21). Nos tratamentos onde o nitrato de amônio foi aplicado na linha, tanto na forma sólida quanto na diluída em água, a percentagem de plantas sem espiga foi menor em relação ao mesmo aplicado a lanço. Este efeito não foi observado quando a fonte utilizada foi a uréia onde não houve diferenças entre os métodos de aplicação. Não houve diferença entre os fertilizantes nitrogenados quanto à percentagem de plantas sem espigas quando a aplicação foi feita na linha de semeadura (Tabela 21). As aplicações de nitrato de amônio a lanço sem a presença de molhamento foliar incrementaram o número de plantas sem espigas em relação ao uso de uréia. A utilização de nitrato de amônio a lanço, sem a presença de molhamento foliar, fez com que 9,6% das plantas não apresentassem espigas, enquanto para a uréia este valor foi de 2,3%. Neste caso, o acúmulo de nitrato de amônio sobre as gemas axilares provavelmente afetou sua diferenciação e incrementou a esterilidade feminina das plantas uma vez que as mesmas ficam posicionadas numa região da folha que garante maior acúmulo de fertilizantes. Com isso há maiores chances das mesmas não se desenvolverem. Vargas (2010) encontrou maiores perdas na percentagem de plantas sem espigas quando o nitrato de amônio foi aplicado a lanço com a presença de molhamento foliar. O autor cita que nesta situação, a água sobre as folhas facilita a descida do fertilizante acumulado, potencializando o efeito fitotóxico sobre as gemas.

Numericamente esta tendência também ocorreu neste trabalho, embora as diferenças não tenham sido significativas.

Na cobertura de N quando o milho se encontrava com cinco folhas totalmente expandidas não se detectou efeito do método de aplicação do N sobre a esterilidade feminina. Quando a cultura se encontrava com dez folhas totalmente expandidas, observaram-se diferenças entre os métodos. Nas aplicações feitas a lanço em V10, a percentagem de plantas sem espiga foi maior que as aplicações feitas na linha. Segundo Sangoi et al. (2007b), a gema lateral que originará a espiga superior, transforma-se num primórdio floral entre V8 e V10. Assim, quando as aplicações foram feitas a lanço em V10, provavelmente o desenvolvimento da espiga foi afetado pelo efeito do fertilizante, aumentando a esterilidade feminina.

Tabela 21 - Percentagem de plantas de milho sem espiga em função da fonte de N, estágio e do método de aplicação da cobertura nitrogenada. Lages, SC, 2009/10.

Método de Aplicação	Plantas sem espiga (%) <sup>4</sup>	
	Fertilizante	
	Nitrato de amônio	Uréia
LI ga <sup>2</sup>	C 1,5 a <sup>1</sup>	A 4,8 a
LI liq	BC 2,3 a	A 3,0 a
LA SMF	A 9,6 a	A 2,3 b
LA CMF	AB 8,2 a	A 3,0 b
Método de Aplicação	Estádio de aplicação <sup>3</sup>	
	V5	V10
	LI ga	A 4,8 a <sup>1</sup>
LI liq	A 3,4 a	BC 1,9 a
LA SMF	A 2,9 a	A 9,0 a
LA CMF	A 3,1 a	AB 8,0 a

<sup>1</sup> Médias antecedidas de mesma letra maiúscula na coluna e seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

<sup>2</sup> LI ga - Aplicação de nitrogênio granulado na linha

LI liq - Aplicação de nitrogênio líquido na linha

LA SMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem molhamento foliar

LA CMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço com molhamento foliar

<sup>3</sup> V5 – cinco folhas expandidas; V10 – dez folhas expandidas, segundo escala proposta por Ritchie et al. (1993).

<sup>4</sup> CV= 63,3%.

A eficiência agronômica do N (EAN) foi alterada pelo método de aplicação de nitrogênio. Não houve diferenças entre os fertilizantes nitrogenados quando os mesmos foram aplicados na linha, tanto na forma diluída em água como via sólida (Tabela 22). Nas aplicações a lanço, a eficiência agronômica do N foi reduzida em relação às aplicações feitas na linha de semeadura. Esta característica reforça o fato de que adubações feitas na linha causam menos prejuízos em relação àquelas feitas a lanço, pois não ocasionam fitotoxicidade foliar não interferindo na produção de fotoassimilados pelas folhas, além disso, há maior disponibilidade do adubo para a planta, pois, o mesmo se encontra totalmente próximo às raízes da planta, assim, ocorre um maior aproveitamento do fertilizante aplicado. Segundo

Muchow e Sinclair (1999), a ocorrência de estresses na pós-emergência do milho e sorgo reduzem a EAN. A baixa eficiência agrônômica do nitrogênio também se deveu à alta dose de N utilizada em cobertura. Geralmente, o aproveitamento pelo milho de N de fertilizantes minerais decresce com o aumento da dose aplicada. É provável que a dose necessária para o milho alcançar o máximo rendimento seja menor que a aplicada no trabalho, pois a área utilizada no experimento apresentava alto teor de matéria orgânica e um sistema de plantio direto consolidado.

A aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem a presença de molhamento foliar propiciou um valor negativo de EAN. Isso demonstra que neste caso a testemunha obteve rendimento maior em relação às parcelas onde o nitrogênio foi aplicado a lanço, independentemente da fonte de N utilizada. Provavelmente as características reinantes do solo onde o experimento foi conduzido, supriram as necessidades do híbrido utilizado na testemunha. A aplicação a lanço sem a presença de molhamento foliar causou prejuízos às plantas, não permitindo que as mesmas pudessem utilizar a quantidade de N disponibilizada na aplicação à produção de grãos.

Tabela 22 - Eficiência agrônômica do nitrogênio em função do método de aplicação de cobertura nitrogenada, na média de duas fontes e dois estádios fenológicos, em milho. Lages, SC, 2009/10.

Método de aplicação	EAN <sup>1</sup> (kg kg <sup>-1</sup> ) <sup>4</sup>
LI ga <sup>3</sup>	6,67 a <sup>2</sup>
LI liq	6,39 a
LA SMF	- 2,39 b
LA CMF	0,17 b

<sup>1</sup> EAN= (rendimento do tratamento com N – rendimento tratamento sem N)/ dose de N em cobertura (HAVLIN et al., 2005).

<sup>2</sup> Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05).

<sup>3</sup> LI ga - Aplicação de nitrogênio granulado na linha

LI liq - Aplicação de nitrogênio líquido na linha

LA SMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço sem molhamento foliar

LA CMF - Aplicação de nitrogênio granulado a lanço com molhamento foliar

<sup>4</sup> CV= 10,4%.

### 3.6 CONCLUSÕES

As aplicações dos fertilizantes próximos a linha de semeadura, via sólida ou fluída, não ocasionaram sintomas de morte de tecido foliar e proporcionam maiores rendimentos de grãos, independentemente da fonte de N e da época de aplicação.

O nitrato de amônio foi mais fitotóxico do que a uréia quando aplicado a lanço, aumentando a área foliar necrosada, a porcentagem de plantas multiespigadas ou sem espigas e reduzindo o rendimento de grãos.

O molhamento foliar utilizado no trabalho não aumentou os prejuízos ao rendimento de grãos ocasionados pela aplicação a lanço de fertilizantes nitrogenados.

As aplicações dos fertilizantes feitas em V10 proporcionaram maior fitotoxicidade foliar do que em V5.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo da cobertura nitrogenada pode ser uma estratégia eficiente para minimizar estresses ocasionados pela desfolha, já que este nutriente é aquele que apresenta maior resposta de incremento ao rendimento de grãos. Por outro lado, a adubação nitrogenada utilizada em cobertura pode gerar estresse à planta devido ao uso inadequado de N na forma de sal, podendo ocorrer necrose foliar, o que pode destruir parcial ou totalmente o tecido. A busca por manejos adequados deste nutriente assegura alta eficiência de uso e propicia menos efeitos nocivos do estresse.

Os resultados do primeiro experimento evidenciaram que desfolhas realizadas em V8 não comprometem o rendimento de grãos do milho, independentemente da dose de N aplicada em cobertura. Já, desfolhas realizadas em V15 diminuíram o rendimento de grãos do milho e não foram atenuadas pela aplicação de nitrogênio em cobertura. Apesar de não ter ocorrido interação significativa entre os fatores estudados, observou-se que no tratamento onde a desfolha foi realizada em V15, com a aplicação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N houve um aumento de quase 50% no rendimento de grão em relação ao tratamento onde a dose de N foi zero. Este fato evidencia que, estatisticamente não houve efeito, porém economicamente, pode ser algo a ser levado em consideração. Desfolhas no florescimento do milho comprometem totalmente a sua área foliar, ocasionando grande redução na produtividade da cultura que não podem ser recuperadas pela cobertura nitrogenada, devido ao hábito determinado da cultura e a ausência de folhas remanescentes para aproveitar o nutriente.

Os resultados do segundo experimento evidenciaram que fertilizantes nitrogenados podem ocasionar fitotoxicidade foliar quando aplicados a lanço. Os prejuízos à área foliar e ao rendimento de grãos dependem da fonte de N utilizada. Aplicações sem contato físico do adubo com a superfície foliar não geram estresse às plantas, independentemente da fonte de N, e devem ser preferidas quando for possível adotar este método de aplicação. A presença de molhamento foliar não aumentou os prejuízos ao rendimento de grãos ocasionados pela aplicação a lanço de fertilizantes nitrogenados. A uréia, entre as fontes testadas, foi a menos fitotóxica e deve ser escolhida em aplicações a lanço, principalmente quando as condições edafoclimáticas não forem favoráveis a perdas por volatilização.

Em síntese, concluiu-se que o manejo da cobertura nitrogenada não foi uma estratégia viável para minimizar os prejuízos ocasionados pela desfolha. Para aplicações a lanço, especialmente em ambientes com baixo potencial de volatilização, deve-se dar preferência a utilização de uréia. Deve-se salientar que este trabalho foi conduzido sob

condições específicas e que os resultados aqui presentes não devem ser expandidos para condições de um modo geral, pois para cada local há uma situação diferente em termos de solo, clima e manejo. Há necessidade de maiores estudos sobre o tema aqui relacionado para que os resultados possam ser utilizados em recomendações.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLISON, J.C.S.; WATSON, D.J. The production and distribution of dry matter in maize after flowering. **Annals of Botany**, v.30, p.365-381, 1966.
- ALVIM, K. R. T. et al. Quantificação da área foliar e efeito da desfolha em componentes de produção de milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 5, p. 1017-1022, mai, 2010.
- ANDRADE, F. H. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcare, Argentina. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v.41, p. 1-12, 1995.
- ANDRADE, F.H. et al. **Ecofisiologia del cultivo de maíz**. Balcarce: La Barrosa, 1996. 292 p.
- ANGHINONI ,I. Adubação nitrogenada nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M.B. (Ed.) Adubação nitrogenada no Brasil. CEPLAC, SBCS. Ilhéus, p.1-18. 1985.
- ARNON, I. Mineral nutrition of maize. Bern: International Potash Institute, 1975. 452p.
- ARTILIP, T.S.; WIESIEUSKI, M.E. Induction of proteins in response to biotic and abiotic stresses. In: PESSARAKLI, M (Org.). **Handbook of plant and crop physiology**. New York: Marcel Dekker, 2002. p.657-679.
- AULAKH, M. S.; DORAN, J. W.; MOSIER, A. R. Soil denitrification - Significance, measurement, and effects of management. In: **Advances in soil science**. New York: Springer-Verlag, 1992. p. 1-57.
- BALKO, L.G.; RUSSEL, W.A. Response of maize inbred lines to N fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, p.723-732, 1980.
- BARNETT, K.H.; PEARCE, R.B. Source-sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. **Crop Science**, Madison, v.23, p.294-299, 1983.
- BEGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.R. **Ecology, individuals, populations and communities**. Oxford: Blackwell, 1986.
- BHATIA, C.R.; RABSON, R. Relationship of grain yield and nutrition quality. In: Nutritional quality of cereal grains: genetics and agronomic management. Madison, WI: American Society of Agronomy, p. 11-14, 1987.
- BLACK, C.A. Relaciones agua-suelo-planta. Buenos Aires, Ed. Hemisferio Sur, v.2, 1975.865p.
- BORGES, I.D. et al. Efeito das épocas de aplicação da cobertura nitrogenada, das fontes de nitrogênio e dos espaçamentos entre fileiras na cultura do milho. **Revista Ceres**, Lavras, v.53, p.75-81, 2006.
- BORRÁS, L.; MADDONI, G.; OTEGUI, M. E. Leaf senescence in maize hybrids: plant

population, row spacing and kernel set effects. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 82, p. 13-26, 2003.

BULL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BULL, L.T.; CANTARELLA, H (Org.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1993. p.63-145.

BULMAN, P.; SMITH, D. L. Grain protein response of spring barley to high rates and post-anthesis application of fertilizer nitrogen. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.1109-1113, 1993.

BRAY, E.A.; BAILEY-SERRES, J.; WERELTILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, E.; GRUISSEM, W.; JONES, R (Org.). **Biochemical and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. P.1158-1249.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, R.L. Urease activity in soils. In: BURNS, R.G. (Org.). **Soil enzymes**. Londres:Academic Press, 1978. p.149-196.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. p. 147-198.

CERETTA, C.A.; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J (Org.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: SBCS, 1998. p.111-120.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. Milho 1ª e 2ª safra. Séries históricas safra 2009/2010. Brasília, DF: Conab, Set. 2010.

\_\_\_\_\_. **Acompanhamento da safra brasileira**. Grãos. Quinto levantamento de grãos. Brasília, DF: Conab, Fev. 2011.

COBUCCI, T. **Efeitos de doses e épocas de aplicação em cobertura do adubo nitrogenado no consórcio milho-feijão**. 1991. 94 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

COELHO, A.M.et al. Balanço de nitrogênio (<sup>15</sup>N) em um Latossolo Vermelho-Escuro sob vegetação de Cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.15, p.187-193, 1991.

COELHO, A. M. et al. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, p.61-67, 1992.

CRUZ, I.; TURPIN, F.T. Efeito da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estádios de crescimento da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.3, p.355-359, 1982.

CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1995, 45 p.

CRUZ, I. et al. Efeito do nível de saturação de alumínio em solo ácido sobre os danos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) em milho. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v.25, p.293-297, 1996.

DA ROS, C.O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, p.799-805, 2005.

DAVIDE, J.G. The effect of fertilizer and population density on the grow and yield of corn in the Philippines. *Philippine Agriculturist*, Laguna, v.14, n.10, p.573-580, 1967.

DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.52, p.272-274, 1960.

DIEST, V. A. Volatilización del amoníaco en los suelos anegados, y sus repercusiones en el rendimiento de arroz. *Noticiarios de la Comisión Internacional del arroz*, FAO, v. 37, p. 1-6, 1988.

DUARTE, J.O.; CRUZ, J.C.; GARCIA, J.C. et al. Economia da produção e utilização do milho. In: *Cultivo do milho*. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Sistema de produção, 1. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/economiadaprodu.htm>>. Acesso em: 5 set. 2006.

DUARTE, J.O. Introdução e importância econômica do milho. In: *Cultivo do milho*. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Sistema de produção, 1. 2002. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/importancia.htm>. Acesso em: 10 Fev. 2011.

DUBEY, R.S.; PESSARAKLI, M. Physiological mechanisms of nitrogen absorption and assimilation in plants under stressful conditions. In: PESSARAKLI, M (Org.). **Handbook of plant and crop physiology**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2002. p.637-655.

EGHAREVBA, P.N.; HORROCKS, R.D.; ZUBER, M.S. Dry matter accumulation in maize in response to defoliation. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.40-43, 1976.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed.. Brasília, 2006. 306p.

ERNANI, P.R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para a macieira**. Lages: Graphel, 2003. 76p.

FANCELLI, A.L.; LIMA, U.A. Milho: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial. São Paulo: SICCI; PROMOCET; FEALQ, 1982. 112p. (Série Extensão Agroindustrial, 5).

FANCELLI, A.L. Influência do desfolhamento no desempenho de plantas e de sementes de milho (*Zea mays* L.). 1988. 172 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Ed. Agropecuária, 360p. 2000.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

FERRO, R.A. et al. Variability in European maize (*Zea mays* L.) landraces under high and low nitrogen inputs. **Genetic Resources and Crop evolution**, v.54, p.295-308, 2007.

FREY, N.M. Dry matter accumulation in kernels of maize. **Crop Science**, v.21, p. 118-122, 1981.

GALLO, D. et al. **Entomologia Agrícola**. v.10. Piracicaba: Fealq, 2002. 920p.

GODOY JUNIOR, C; GRANER, E.A. Milho: adubação mineral nitrogenada. IV – Parcelamento do calnitro. **Revista da Agricultura**, v.39, p.185-189, 1964.

GODOY, L.J.G. Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho (*Zea mays* L.) em solo arenoso baseado no índice relativo de clorofila. 2002. 94p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

HANWAY, J.J. Defoliation effects on different corn (*Zea mays* L.) hybrids as influenced by plant population and stage of development. **Agronomy Journal**, Madison, v.61, p. 534-538, 1969.

HAVLIN, J.L. et al. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7.ed. New Jersey: Pearson, 2005, 515p.

HICKS, D.R.; NELSON, W.W.; FORD, J.H. Defoliation effects on corn hybrids adapted to the northern Corn Belt. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, p.387-390, 1977.

HSIAO, T.C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, v.24, p.519-570, 1973.

HUNTER, J.L., TEKRONY, D.M., MILES, D.F., EGLI, D.B. Corn seed maturity indicators and their relationship to uptake of carbon-14 assimilate. **Crop Science**, v.31, p. 1309-1313, 1991.

JONES, H.G.; JONES, M.B. Introduction: some terminology and common mechanisms. In JONES, H.G.; FLOWERS, M; JONES, M.B (Org.). **Plants under stress**. New York: Cambridge press. 1991. p.1-11.

JONES, M.; HENDERLONG, P.R. The effect of frost and mechanical defoliation on corn development and yield. Annual Meeting of American Society of Agronomy, Madison, p.106-107, 1981. (Agronomy, 73).

JONES, R.J.; SIMMONS, S.R. Effect of altered source-sink ratio on growth of maize kernels. **Crop Science**, Madison, v.23, p.129-134, 1983.

KELLING, K.A. & FIXEN, P.E. Soil and nutrient requirements for oat production. In: MARSHALL, H.G. & SORRELS, M.E. Oat science and technology. Madison: American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, 1992. p.165-190.

KROGMEIER, M.J.; McCARTY, G.W.; BREMNER, J.M. Phytotoxicity of foliar-applied urea. **Proceedings of National Academy Science**, v.86, p.8189-8191, 1989.

LANTMANN, A.F.; OLIVEIRA, E.L.; CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A. Adubação nitrogenada no Estado do Paraná. In: SANTANA, M.B.M. (Ed.) Adubação nitrogenada no Brasil. Ilhéus: CEPLAC; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.20-46.

LARA CABEZAS, W.A.R; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura do milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, p.481-487, 1997.

LAUER, J. **Late-season hail effects on corn**. Agronomy Advice, University of Wisconsin, Wisconsin, 2009 (Bulletin).

LEMARE, G.; GASTAL, F.N. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRE, G (Org.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin: Springer, 1997. p.3-43.

LOPEZ-OVEJERO, R.F. et al. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D (Org.). **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", 2003. p.47-79.

MACHADO, E.C.; SILVEIRA, J.A.G.; VITORELLO, V.A.; RODRIGUES, J.L.M. Fotossíntese, remobilização de reservas e crescimento de grãos em dois híbridos de milho sob deficiência hídrica na fase de enchimento dos grãos. **Bragantia**, v.51, n.2, p.151-159, 1992.

MACHADO, A.T.; MAGNAVACA, R. **Estresse Ambiental: o milho em perspectiva**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1991. 47p.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F. O. M.; PAIVA, E. Fisiologia da planta de milho. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1995.

MALAVOLTA, E.; DANTAS, J.P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, J.P (Org.). **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.541-590.

MALAVOLTA, E. O potássio e a planta. Piracicaba, Instituto do Potássio e do Fosfato, 1977. 60p. (Boletim técnico, 1)

MALAVOLTA, E.; BASSO, L.C.; OLIVEIRA, G.D. et al. Estudos sobre a nutrição mineral do milho. Efeito de doses crescentes de N, P e K no crescimento, na produção e na composição mineral da variedade 'Piranão' em condições controladas. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, v.33, p.479-499, 1976.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MELGAR, R.J. et al. Doses e épocas de aplicação do fertilizante nitrogenado para milho em Latossolo da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.15, p.289-296, 1991.

MIKKELSEN, R.L. Biuret in urea fertilizer. **Fertilizer Research**, v.26, p.311-318, 1990.

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Water deficit effects on maize yields modeled under current and “greenhouse” climates. **Agronomy Journal**, v.83, p.1052-1059, 1991.

MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R. Effect of nitrogen supply on maize yield: II. Field and model analysis. **Agronomy Journal**, v.87, p.642-648, 1995.

MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E. L. **O milho no Paraná**. Londrina: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1992. p. 88-95. (Circular 29)

NHEMI, I.M.D.; FERRAZ, J.V.; NHEMI FILHO, V.A., SILVA, M.L.M. Milho: a diferença aparece no manejo. In: \_\_\_\_\_. *Agrianual 2004: Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: Argos, 2004. p.377 – 378. (Agrianual, 2004).

NICOLAI, M. et al. Efeitos da adubação nitrogenada em cobertura sobre a seletividade de herbicidas à cultura do milho. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v.24, p.279-286, 2006.

OHM, H.W. Response of 21 oat cultivars to nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.773-775, 1976.

PEREIRA FILHO, I.A. **Comportamento dos cultivares de milho (*Zea mays* L.) ‘Pirañao’ e ‘Centralmex’ em diferentes condições de ambientes, espaçamentos e níveis de nitrogênio**. 1977. 84 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1977.

PEREIRA, F. H. **Influência do despendoamento e da desfolha na produção e qualidade de sementes de milho**. 2007. 38 p. Dissertação (Mestrado em Produção e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007.

PINTER, L.; KALMAN, L. Effects of defoliation on loading and yield of maize hybrids. *Experimental Agriculture*, v.15, p.241-245, 1979.

POOLE, W.D.; RANDALL, G.W.; HAM, G.E. Foliar fertilizations of soybeans. II. Effect of biuret and application time of day. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, p.201-203, 1983.

PRESTERL, T. et al. Improving nitrogen use-efficiency in European maize: estimation of quantitative genetic parameters. **Crop Science**, v.43, p.1259-1265, 2003.

RAJCAN, I.; TOLLENAAR, M. Source: sink ratio and leaf senescence in maize. I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. **Field Crops Research**, v.60, p.245-253, 1999a.

RAJCAN, I.; TOLLENAAR, M. Source: sink ratio and leaf senescence in maize. II. Nitrogen metabolism during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.60, p. 255-265, 1999b.

REIS, E.M.; CASA, R.T.; BRESOLIN, A.C.R. 2.ed.rev.atual. **Manual de diagnose e controle de doenças do milho**. Lages: Graphel, 2004. 144p.

RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; FONTES, J. R. A.; ARNS, L. L. K.; RIBEIRO, L. F. Adubação e arranjo de plantas no consórcio milho e braquiária. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.38, p. 269-275, 2008.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1993. 26p. (Special Report, 48).

ROSOLEM, C.A.; BOARETTO, A.E. Avaliação do estado nutricional das plantas cultivadas. In: BOARETTO, A.E.; ROSOLEM, C.A (Org.). **Adubação foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.117-144.

ROTH, G.W.; LAUER, G. Impact of defoliation on corn forage quality. **Agronomy Journal**, v.100, p.651-657, 2008.

RUGET, F. Contribution of storage reserves during grain-filling of maize in northern european conditions. *Maydica*, v. 38, p. 51-59. 1993.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. *Plant Physiology*. 4.ed. Belmont: Wadsworth Publishing, 1992. 681p.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, p. 159-168, 2001.

SANGOI, L. et al. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.271-276, 2001.

SANGOI, L. et al. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milhos a altas densidades de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, 101-110, 2002.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; ZANIN, C.G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, p.263-271, 2007a.

SANGOI, L. et al. Desenvolvimento e exigências climáticas da planta de milho para altos rendimentos. Lages: Graphel, 95 p. 2007b.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; ZANIN, C.G. Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, p.263-271, 2007c.

SANGOI, L. . O perfilhamento é benéfico, prejudicial ou irrelevante à cultura do milho? **Cultivar Grandes Culturas**, v. 12, p. 12-17, 2010.

SARCA, V.; BARBU, V.; DRAGOMIR, G. The effect of different emasculation methods on yield and biological purity of hybrids grains of maize. *Seed Abstracts*, v. 10, p.292, 1987.

SCANDALIOS, J.G. Oxygen stress and superoxide desmutases. *Plant Physiology*, v.101, p.7-12, 1993.

SCHUSSLER, J.R.; WESTGATE, M.E. Increasing assimilate reserve does not prevent kernel abortion at low water potential in maize. *Crop Science*, v.34, p.1569-1576, 1994.

SCHRÖDER, J.J. et al. Does the crop or the soil indicative how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crops Research*, v.66, p.151-154, 2000.

SILOTO, R.C. **Danos e Biologia de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepdoptera: Noctuidae) em Genótipos de Milho.** 2002. 93p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Curso de Pós Graduação em Fitotecnia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SILVA, E.C. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, MG, v.29, p.353-362, 2005.

SILVA, E.C. et al. Manejo do nitrogênio no milho em Latossolo Vermelho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.477-486, 2006.

SINGH, R.P.; NAIR, K.P.P. Defoliation studies in hybrid maize : I. Grain yield, quality and leaf chemical composition. *Journal of Agricultural Science*, v.85, p.241-245, 1975.

Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2009/2010. In: CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA. **Tabelas de produção.** 2010. Disponível em:<<http://cepa.epagri.sc.gov.br/>>. Acesso em: 12 fev. 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 4 ed. Tradução Eliane Romanato Santarém, et al. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TARTACHNYK, I.; BLANKE, M.M. Effect of mechanically-simulated hail on photosynthesis, dark respiration and transpiration of apple leaves. *Environmental and Experimental Botany*, v.48, p.169-175, 2002.

TAYLOR, D.K. et al. Modelling temperature effects on growth-respiration relations of maize. *Plant Cell Environment*, v.21, p.1143-1151, 1998.

THOMISON, P.R.; GEYER, A. Corn response to differential canopy removal. Annual Meeting of American Society of Agronomy, p.103, 2004.

TOLLENAAR, M. Sink-source relationships during reproductive development in maize. A review. *Maydica*, Bergamo, v.22, p.49-85, 1977.

TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T.B. Effect of defoliation on kernel development in maize. **Canadian Journal of Plant Science**, v.58, p.207-212, 1978.

TOLLENAAR, M. Is low plant density a stress in maize? **Maydica**, v. 37, p. 305-311, 1992.

TOLLENAAR, M.; DWYER, L.M. Physiology of maize. In: SMITH, D.L.; HAMEL, C. (Ed.) **Crop yield, physiology and processes**. Berlin: Springer-Verlag, 1999. cap.5, p.169-201.

TSAI, C. Y.; DWEIKAT, I.; HUBER, D.M.; WARREN, H.L. Interrelationship of nitrogen nutrition with maize (*Zea mays*) grain yield, nitrogen efficiency and grain quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Sussex, v.58, p. 1-8, 1992.

TSUKAHARA, R.Y.; KOCHINSKI, E.G. Efeito da redução da área foliar a reaplicação de nitrogênio sobre os componentes de produção em milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 27., 2008, Londrina. **Resumos...Sete Lagoas: ABMS/EMBRAPA milho e sorgo/IAPAR**, 2008. CD-ROM.

TYNER, E.H. The relation of corn yields to leaf nitrogen, phosphorus, and potassium content. **Soil Science Society Proceedings**, v.11, p.317-323, 1946.

UHART, S.A.; ANDRADE, F.H. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source/sink ratios. **Crop Science**, v.35, p.183-190, 1995.

World corn supply and use. In: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. World agricultural supply and demand estimates. Disponível em: <<http://usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>> Acesso em: 12 Fev. 2011.

VARGAS, V. P. **Manejo da adubação nitrogenada na recuperação de estresses em milho**. 2010. 146 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2010.

VARGAS, V. P. et al. O rendimento de grãos do milho é afetado pela fonte e método de aplicação do nitrogênio em cobertura. In: REUNIÃO TÉCNICA ESTADUAL DO MILHO, 54., 2009, Veranópolis. **Anais...** Porto Alegre: Emater, 2009a. v. 54. p. 185-187.

VASILAS, B.L.; SEIF, R.D. Effect of defoliation on the timing of anthesis and silking of maize inbred lines. **Maydica**, Bergamo, v.30, p.427-435, 1985a.

VASILAS, B.L.; SEIF, R.D. Defoliation effects on two corn inbreds and their single-cross hybrid. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, p.816-820, 1985b.

VEGA, C. R. C.; ANDRADE, F. H.; SADRAS, V. O.; UHART, S. A.; VALENTINUZ, O. R. Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower and maize. **Crop science**, v.41, p. 748-754, 2001.

WILHELM, W.W., JOHNSON, B.E., SCHEPERS, J.S. Yield, quality and nitrogen use of inbred corn with varying numbers of leaves removed during detasseling. **Crop Science**, v.35, p. 209-212, 1995.

WILLIAMS, W. P.; DAVIS, F. M. Response of corn to artificial infestation with fall armyworm and southwestern corn borer larvae. **Southwestern Entomologist**, v. 15, p. 163-166, 1990.

WOLSCHICK, D. et al. Adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema plantio direto em ano com precipitação pluvial normal e com “El Niño”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, MG, v.27, p.461-468, 2003.

YAMADA, T. **Adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar**. Informações Agronômicas Potafós. Piracicaba: Potafós, n.74, p.1-5, 1996.