

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA À TAXA VARIADA
COM O N-SENSOR NAS CULTURAS DO
MILHO E TRIGO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Jardes Bragagnolo

**Santa Maria, RS, Brasil
2010**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA À TAXA VARIADA
COM O N-SENSOR NAS CULTURAS DO
MILHO E TRIGO**

por

Jardes Bragagnolo

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós- Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ADUBAÇÃO NITROGENADA À TAXA VARIADA
COM O N-SENSOR NAS CULTURAS DO
MILHO E TRIGO**

elaborado por
Jardes Bragagnolo

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

João Carlos de Moraes Sá, Dr. (UEPG)

Jackson Ernani Fiorin, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 03 de março de 2010.

DEDICATÓRIA

Dedico a meus pais,
Nestor e Lourdes,
pelo apoio incondicional e por
serem exemplos de amor e perseverança.

Que os dias tenham bastante espaço para
novos interesses, novas experiências e novas amizades...
Que estejam ocupados o bastante para que a vida tenha um sentido
e especialmente que sejam tranquilos o suficiente
para dar tempo de sonhar.

...em busca de um sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que contribuíram de uma forma ou de outra para a realização deste trabalho, em especial:

A Deus, pela vida, pelas oportunidades e por me guiar durante todo este tempo.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de cursar um dos melhores cursos de Agronomia do país, e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, por me conceder esta oportunidade tão valiosa.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro através da concessão da bolsa de mestrado.

Ao Professor Telmo Jorge Carneiro Amado, pela orientação, amizade, paciência e pelos votos de confiança na execução deste trabalho.

Ao Professor Thomé Lovatto, pela amizade, oportunidades e incentivos na pesquisa na área de uso, manejo e conservação do solo. Ao Professor Flávio Luiz Foletto Eltz, pela amizade, companheirismo e ensinamentos. Deixo a vocês, Professores e Mestres na arte de ensinar, minha gratidão.

À minha família, que, mesmo distante, apoiou-me, incentivou e deu condições de realizar meus sonhos. Aos meus pais, Nestor Bragagnolo e Lourdes Parise Bragagnolo, pelo amor e educação, por me ensinarem os verdadeiros valores da vida e me encorajarem nos momentos difíceis. Vocês são os melhores exemplos de luta, perseverança, dignidade e bondade de minha vida.

Ao meu avô, Rynaldo Pedro Bragagnolo, minha eterna gratidão pelos ensinamentos, exemplos de vida, bondade e respeito. Que um dia eu possa ser tão sábio e valoroso quanto ele.

A Paola, pela atenção, carinho, apoio, compreensão e incentivo nos momentos difíceis e por me mostrar que “entre razões e emoções, a saída é fazer valer a pena...”. Muito obrigado!

A Gustavo Mack Teló e Vitor Cauduro Girardello, que há tanto tempo trilham caminhos comigo. Muito obrigado pela amizade, carinho, convivência, incentivo e paciência. Que a vida nos permita desfrutar da longa e eterna amizade que nos une.

Aos colegas do Laboratório de Uso, Manejo e Conservação de Solo e da Água, por me permitirem desfrutar de suas companhias nas rodas de mate ou nos churrascos inesperados, pelas brincadeiras e pela ajuda sempre tão bem vindas. Agradecimentos a Marta Rocha, Mastrângelo Lanzasova, Paulo Alba, Rodrigo Nicoloso, Rodrigo Pizzani e aos paraguaios Luiz Ramiro Samaniego, Diego Augusto Fatecha e Nathalia Riveros Ciancio.

Aos prezados alunos de graduação em Agronomia da UFSM, que voluntariamente auxiliaram na execução deste trabalho: aos guerreiros Álvaro Menegon, Douglas Dalla’Nora, Fabiano Tabaldi, Junior Kunz, Tiago Horbe e Tiago Teixeira, sem esquecer-se do “B1” e “B2” Diego Shosseler e Fernando Hansel, meu eterno agradecimento pela ajuda em todas aquelas vezes que tínhamos hora para a saída, mas não para a chegada, nos dias de calor extremo trabalhando com milho ou daquelas coletas no rigoroso inverno gaúcho, quebrando geada, enfrentando o minuano e até mesmo temporais. Sem vocês este trabalho seria muito mais árduo.

Aos funcionários desta instituição, Zé Luiz e Ênio Possobom e ao Sr. Finamor pela ajuda, amizade e exemplo de bom humor.

A todos os parceiros do Projeto Aquarius (AGCO, COTRIJAL, FUNDACEP – CCGL, YARA, STARA), pelo apoio e por nunca medirem esforços para a realização deste trabalho, representados por Charles, Eduardo, Gregory, Leonardo, Jackson, Alessandro, Marcelo, João, Cristiano, Edson.

Aos produtores, por concederem áreas, por auxiliarem na condução das culturas e na execução dos experimentos e pelo interesse em pesquisar e evoluir nos conhecimentos científicos e técnicos que regem seus trabalhos. Agradeço também pela amizade, perseverança e pioneirismo da Família Marquetti e às Famílias Koeche e Arns pelo apoio e interesse neste trabalho.

Aos demais, que direta ou indiretamente contribuíram para que eu pudesse alcançar esse objetivo... Vocês fazem parte desta minha conquista.

Muito obrigado!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

ADUBAÇÃO NITROGENADA À TAXA VARIADA COM O N-SENSOR NAS CULTURAS DO MILHO E TRIGO

AUTOR: JARDES BRAGAGNOLO

ORIENTADOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO

LOCAL E DATA DA DEFESA: SANTA MARIA, 03 DE MARÇO DE 2010.

A maioria dos solos tropicais e subtropicais apresenta disponibilidade insuficiente de nitrogênio (N) para atender a demanda das culturas de milho e trigo visando à obtenção de elevados rendimentos. O N nas plantas pode ser avaliado através da utilização de sensores de espectrometria ótica ativa, nas quais se destaca o N-Sensor, equipamento capaz de determinar a dose de N a ser aplicada em cobertura em tempo real. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de adubação nitrogenada à taxa variada, com uso do N-Sensor, e correlacioná-la com diferentes parâmetros de planta durante o desenvolvimento das culturas de milho e trigo em Latossolos do RS. Os experimentos foram realizados em Tio Hugo e Cruz Alta para o milho e Victor Graeff e Cruz Alta para o trigo. Foi avaliado o efeito da aplicação de diferentes doses de N à taxa variada e taxa fixa em parâmetros de planta como leituras com clorofilômetro e massa seca, teor de N na massa seca e quantidade de N absorvida por unidade de área, correlacionando-as com o Índice de vigor de biomassa (IVB) e dose recomendada pelo N-Sensor e produtividade de grãos. Durante as aplicações de fertilizante nitrogenado foram efetuados em média entre 235 e 345 registros ha⁻¹ de IVB e doses recomendadas pelo N-sensor. As produtividades de milho, para os tratamentos à taxa variada, embora não tenham diferido da taxa uniforme, foram de 9273 kg ha⁻¹ e 8571 kg ha⁻¹, respectivamente para Tio Hugo e Cruz Alta, ficando acima da média da Região Sul para a safra 2008/09 (5570 kg ha⁻¹). Os experimentos com trigo obtiveram médias de produtividade de 2520 kg ha⁻¹ em Victor Graeff e 2858 kg ha⁻¹ em Cruz Alta, superiores a média da Região Sul, que é de 2070 kg ha⁻¹. Os resultados mostraram que a clorofila medida pelo SPAD foi um indicador precoce para recomendação de adubação nitrogenada em milho para o experimento conduzido em Tio Hugo. No estágio de oito folhas totalmente expandidas, o valor crítico determinado foi de 44,5 valores SPAD. Para o trigo não se obteve correlação entre os parâmetros de planta avaliados e a produtividade. O teor crítico de SPAD no estágio de florescimento foi de 40,6. Observou-se correlação significativa entre a dose indicada pelo N-sensor e a produtividade de trigo no experimento de Victor Graeff, demonstrando a eficiência da diagnose com o sensor. O aumento da produtividade de grãos com aplicação de N à taxa variada, utilizando o N-Sensor, quando comparada com aplicação à taxa fixa, variou entre 8,05% para Cruz Alta e 3,6% para Tio Hugo em milho e 0,2% em Cruz Alta para trigo. Além disso, houve redução de 4,35% em Victor Graeff para trigo, porém mais estudos deverão ser realizados visando adequar essa nova tecnologia às condições brasileiras de cultivo.

Palavras-chaves: nitrogênio, sensor ótico, agricultura de precisão, *Zea mays*, *Triticum aestivum*.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Graduate Program in Soil Science
Universidade Federal de Santa Maria – RS, Brazil

VARIABLE-RATE NITROGEN FERTILIZATION WITH N-SENSOR IN MAIZE AND WHEAT

AUTHOR: JARDES BRAGAGNOLO

ADVISOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO

LOCATION AND DATE OF PRESENTATION: SANTA MARIA, 03 MARCH 2010.

Most tropical and subtropical soils present insufficient availability of nitrogen (N) to meet the demand of maize and wheat in order to obtain high yields. The N in plants can be evaluated through the use of sensors of active optical spectrometry, on which stands the N-Sensor, equipment able to determine the N rate to be applied in coverage in real-time. The objective of this study was to evaluate the efficiency of variable-rate nitrogen fertilization with use of the N-Sensor and to correlate it with different parameters of the plant during the development of maize and wheat in Oxisols of the RS. The experiments were performed in Tio Hugo and Cruz Alta with corn and Victor Graeff and Cruz Alta with wheat. It was evaluated the effect of different doses of variable-rate and fixed-rate Nitrogen in plant parameters such as chlorophyll meter readings and dry weight, N content in dry weight and amount of N absorbed per unit area, correlating them with the Biomass Vigor Index (BVI), recommended dose from the N-Sensor and grain productivity. During the applications of nitrogen fertilizer it was collected an average between 235 and 345 records per hectare of BVI and recommended doses by the N-sensor. The yields of maize, for the variable-rate treatments, and although did not differed from the uniform-rate, were of 9273 kg ha⁻¹ and 8571 kg ha⁻¹ respectively for Tio Hugo and Cruz Alta, standing above the Southern average in the 2008/09 crop year (5570 kg ha⁻¹). The experiments with wheat achieved an average productivity of 2520 kg ha⁻¹ in Victor Graeff and 2858 kg ha⁻¹ in Cruz Alta, above the average of the South region, which is around 2070 kg ha⁻¹. The results showed that the chlorophyll measured by the SPAD was an early indicator for the recommendation of nitrogen fertilization for corn in the experiment conducted in Tio Hugo. At the stage of 8 fully expanded leaves, the critical value determined was 44.5 SPAD values. For wheat there was no correlation between the parameters evaluated and plant productivity. The critical content of SPAD at the flowering stage was 40.6. There was significant correlation between the dose indicated by the N-sensor and the productivity of wheat in the experiment in Victor Graeff, showing the efficiency of diagnosis with the sensor. The increase in grain yield with the application of variable-rate N by using the N-Sensor, compared with the fixed-rate N application, ranged from 8.05% in Cruz Alta and 3.6% in Tio Hugo for corn and 0.2% for wheat in Cruz Alta. Furthermore, there was a reduction of 4.35% in Victor Graeff for wheat and more studies should be conducted in order to adapt this new technology to the Brazilian crop.

Keywords: nitrogen, optical sensor, precision farming, *Zea mays*, *Triticum aestivum*.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Histórico dos cultivos antecedendo este estudo no período de 2006 a 2008 para a área experimental localizada em Tio Hugo.	27
TABELA 2 - Resultados das análises granulométricas e químicas do solo, para a camada 0 -10 m de profundidade para a área experimental localizada em Tio Hugo.	28
TABELA 3 - Resultados das análises granulométricas e químicas do solo, para a camada 0-10 m de profundidade para a área experimental localizada em Cruz Alta.	31
TABELA 4 - Análise estatística e geoestatística descritivas dos dados de Índice de vigor de biomassa e dose recomendada pelo N-Sensor, para o tratamento com aplicação À TAXA VARIADA da dose 150 Kg ha ⁻¹ de N em milho. Tio Hugo, RS, 2009.	37
TABELA 5 - Análise estatística e geoestatística descritivas de Índice de vigor de biomassa e dose recomendada pelo N-Sensor, para o tratamento com aplicação à taxa variada da dose 140 Kg ha ⁻¹ de N em milho. Fundacep, Cruz Alta, RS, 2009.	39
TABELA 6 - Correlações entre os diferentes parâmetros avaliados nos estádios de desenvolvimento de oito folhas e florescimento de milho, nos tratamentos que utilizaram aplicação à taxa variada de N, segundo recomendação do N-Sensor, para Tio Hugo e Cruz Alta, RS, 2009.	44
TABELA 7 - Correlações entre os diferentes parâmetros avaliados em diferentes estádios de desenvolvimento do milho para as médias dos tratamentos testados, em Tio Hugo e Cruz Alta, RS, 2009.	46
TABELA 8 - Estatística descritiva dos parâmetros avaliados nos diferentes estádios de desenvolvimento do milho para as médias dos tratamentos nos experimentos de Tio Hugo e Cruz Alta, RS, 2009.	48
TABELA 9 - Resposta do milho a doses de fertilizante nitrogenado e eficiência do uso de nitrogênio em Tio Hugo e Cruz Alta, RS, 2009.	55
TABELA 10 - Histórico dos cultivos antecedendo este estudo no período de 2006 a 2008 para a área experimental localizada em Victor Graeff.	71
TABELA 11 - Resultados das análises granulométricas e químicas do solo, para a camada 0-10 m de profundidade para a área experimental localizada em Victor Graeff....	72
TABELA 12 - Resultados das análises granulométricas e químicas do solo, para a camada 0-10 m de profundidade para a área experimental localizada em Cruz Alta.	74
TABELA 13 - Análise estatística e geoestatística descritivas de Índice de vigor de biomassa (IVB) e dose recomendada pelo N-Sensor, para o tratamento com aplicação À TAXA VARIADA da dose 100 kg ha ⁻¹ de N em trigo. Victor Graeff, RS, 2009.	81
TABELA 14 - Análise estatística e geoestatística descritivas de Índice de vigor de	84

biomassa e dose recomendada pelo N-Sensor, para o Tratamento 100TV com aplicação À TAXA VARIADA de N em trigo. Cruz Alta, RS, 2009.

TABELA 15 - Análise estatística e geoestatística descritivas de Índice de vigor de biomassa e dose recomendada pelo N-Sensor, para o Tratamento 100TVR com aplicação à taxa variada de N e redutor de crescimento em trigo. Cruz Alta, RS, 2009. ... 90

TABELA 16 - Correlações entre os parâmetros de plantas de trigo em diferentes estádios de desenvolvimento para os experimentos localizados em Victor Graeff e Cruz Alta, RS, 2010. 92

TABELA 17 - Análise das correlações entre os parâmetros médios de plantas de trigo em diferentes estádios de desenvolvimento para o conjunto dos experimentos localizados em Victor Graeff e Cruz Alta, RS, 2010. 93

TABELA 18 - Parâmetros de plantas de trigo em diferentes estádios de desenvolvimento para os experimentos conduzidos em Victor Graeff e Cruz Alta, RS, 2010. 95

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - N-Sensor ALS [®] (YARA), sensor ótico ativo capaz de realizar a determinação da dose de N a ser aplicada à taxa variada em tempo real.	25
FIGURA 2 – Ilustração de “escaneamento” do N-Sensor ALS [®] para aplicação à taxa variada em tempo real de fertilizante nitrogenado.	26
FIGURA 3 - Croqui do experimento realizado em Tio Hugo, RS. 2009.	29
FIGURA 4 - Croqui do Experimento localizado em Cruz Alta.	33
FIGURA 5 - Frequência de IVB e das doses recomendadas pelo N-Sensor para milho no experimento localizado em Tio Hugo, RS. 2009.	36
FIGURA 6 - Mapa de IVB (a) e dose recomendada de N (kg ha ⁻¹) (b) pelo N-Sensor para a cultura do milho com aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado. Tio Hugo, RS. 2009.	38
FIGURA 7 - Frequência de IVB de milho no experimento localizado em Cruz Alta, RS. 2009.	40
FIGURA 8 – Frequência das doses recomendadas pelo N-Sensor para milho no experimento localizado em Cruz Alta, RS. 2009.	41
FIGURA 9 - Mapa de IVB (a) e dose recomendada de N (kg ha ⁻¹) (b) pelo N-Sensor para a cultura do milho com aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado. Cruz Alta, RS. 2009.	42
FIGURA 10 - Produtividade relativa de milho em função das determinações de clorofilômetro manual SPAD para os experimentos de Tio Hugo e Cruz Alta. Santa Maria, RS, 2010.	50
FIGURA 11 - Produtividade de milho com diferentes doses de nitrogênio aplicadas a taxa fixa e variada.	52
FIGURA 12 - Produtividade de milho com diferentes doses de nitrogênio aplicadas a taxa fixa e variada. Cruz Alta, RS. 2009.	54
FIGURA 13 - Produtividade de milho em função das doses de N aplicadas para os experimentos de Tio Hugo e Cruz Alta. Santa Maria, RS, 2010.	56
FIGURA 14 - Modelo de calibração interna da equação de aplicação do N-Sensor para de fertilizante nitrogenado. Adaptado de Yara (2008).	68
FIGURA 15 - Croqui do experimento localizado em Victor Graeff, RS, 2010.	73
FIGURA 16 – Croqui do experimento localizado em Cruz Alta, RS, 2010.	75

FIGURA 17 - Frequência do Índice de vigor de biomassa de trigo, para o experimento conduzido em Victor Graeff, RS. 2009.	78
FIGURA 18 - Frequência das doses recomendadas pelo N-Sensor em função do Índice de vigor de biomassa de trigo, para o experimento conduzido em Victor Graeff, RS. 2009.	79
FIGURA 19 - Dose recomendada pelo N-Sensor em função do Índice de vigor de biomassa de trigo, para a Repetição 1, com presença de “ <i>Biomass cutoff</i> ”. Victor Graeff, RS. 2009.	80
FIGURA 20 - Mapa de IVB (a) e dose recomendada de N (kg ha ⁻¹) (b) pelo N-Sensor para a cultura do trigo com aplicação à taxa variada de fertilizante. Victor Graeff, RS. 2009.	82
FIGURA 21 - Frequência do Índice de vigor de biomassa de trigo, para o tratamento 100TV em Cruz Alta, RS. 2009.	85
FIGURA 22 - Frequência das doses recomendadas pelo N-Sensor em função do Índice de vigor de biomassa de trigo, para o tratamento 100TV em Cruz Alta, RS. 2009.	86
FIGURA 23 - Mapa de IVB (a) e dose recomendada de N (kg ha ⁻¹) (b) pelo N-Sensor para a cultura do trigo no Tratamento com aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado. Cruz Alta, RS. 2009.	87
FIGURA 24 - Frequência do Índice de vigor de biomassa de trigo, para o tratamento 100TVR em Cruz Alta, RS. 2009.	88
FIGURA 25 - Frequência das doses recomendadas pelo N-Sensor em função do Índice de vigor de biomassa de trigo, para o tratamento 100TVR em Cruz Alta, RS. 2009.	89
FIGURA 26 - Mapa de IVB (a) e dose recomendada de N (kg ha ⁻¹) (b) pelo N-Sensor para a cultura do trigo no Tratamento com aplicação à taxa variada e redutor de crescimento. Cruz Alta, RS. 2009.	91
FIGURA 27 - Rendimento Relativo de trigo em função das determinações de SPAD, para os experimentos de Victor Graeff e Cruz Alta, RS. 2009.	96
FIGURA 28 - Mapa de produtividade de trigo para o experimento localizado em Victor Graeff, RS, 2010.	98
FIGURA 29 - Mapa de produtividade de trigo para o experimento localizado em Cruz Alta, RS, 2010.	99

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A - Dados pluviométricos durante os meses de cultivo do milho, safra 2008/2009, entre SET/2008 e MAR/2009 em Tio Hugo, RS.	108
ANEXO B - Dados pluviométricos durante os meses de cultivo do milho, safra 2008/2009, entre DEZ/2008 e ABR/2009 em Cruz Alta, RS.	109
ANEXO C - Escala fenológica de trigo (ZADOKS) utilizadas pelo N-Sensor.	110

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 HIPÓTESE.....	10
3 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	19
3.1 Objetivo Geral.....	19
3.2 Objetivos Específicos.....	19
CAPÍTULO I - FERTILIZAÇÃO NITROGENADA À TAXA VARIADA EM TEMPO REAL NA CULTURA DO MILHO UTILIZANDO SENSOR ÓTICO.....	20
1 INTRODUÇÃO	21
2 MATERIAL E MÉTODOS	24
2.1. EXPERIMENTO 1 – Localizado em Tio Hugo - RS.....	27
2.1.1 Localização e histórico de cultivo da área experimental.....	27
2.1.2 Desenho experimental.....	28
2.1.3 Condução experimental e parâmetros avaliados.....	29
2.2. EXPERIMENTO 2 – Localizado em Cruz Alta - RS.....	31
2.2.1 Localização e histórico de cultivo da área experimental.....	31
2.2.2 Desenho experimental.....	32
2.2.3 Condução experimental e parâmetros avaliados.....	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1 Índice de vigor de biomassa de plantas de milho e aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado utilizando o N-Sensor.....	35
3.1.1 Experimento 1 – Tio Hugo – RS.....	35
3.1.2 Experimento 2 – Cruz Alta – RS.....	38
3.2 Correlação dos dados de índice de vigor de biomassa e dose recomendada pelo N-Sensor com parâmetros de plantas de milho.....	43
3.3 Influência de doses de N em taxa fixa e taxa variada nos parâmetros de planta em diferentes estádios de desenvolvimento do milho.....	47
4 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
CAPÍTULO II - FERTILIZAÇÃO NITROGENADA À TAXA VARIADA EM TEMPO REAL NA CULTURA DO TRIGO UTILIZANDO SENSOR ÓTICO.....	65
1 INTRODUÇÃO	66
2 MATERIAL E MÉTODOS	69

2.1 EXPERIMENTO 1- Localizado em Victor Graeff- RS.....	71
2.1.1 Localização e histórico de cultivo da área experimental.....	71
2.1.2 Desenho experimental.....	72
2.1.3 Condução experimental e parâmetros avaliados.....	73
2.2 EXPERIMENTO 2 - Localizado em Cruz Alta – RS.....	74
2.2.1 Localização e histórico de cultivo da área experimental.....	74
2.2.2 Desenho experimental.....	75
2.2.3 Condução experimental e parâmetros avaliados.....	75
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
3.1 Variação de índice de vigor de biomassa de plantas de trigo e aplicação à taxa variada utilizando-se o N-Sensor.....	77
3.1.1 Experimento 1 – Victor Graeff – RS.....	77
3.1.2 Experimento 2 – Cruz Alta – RS.....	83
3.2 Correlação dos dados de índice de vigor de biomassa (IVB) e dose recomendada pelo N-Sensor com parâmetros de plantas de trigo.....	91
3.3 Influência de doses de N em taxa fixa e taxa variada nos parâmetros de planta em diferentes estádios de desenvolvimento do trigo.....	94
4 CONCLUSÃO	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	106

1 INTRODUÇÃO

Para as gramíneas em geral, o nitrogênio (N) é o nutriente que mais frequentemente influencia a produtividade devido às características peculiares das espécies, com capacidade limitada de fixação de N atmosférico pela maioria das gramíneas. Dessa forma, o N absorvido é obtido do solo, proveniente de resíduos culturais e da matéria orgânica do solo (MOS) ou suprido por adubações complementares.

Levando-se em consideração o fato da maioria dos solos da região Sul ser cultivado com o Sistema Plantio Direto (SPD), que visa o não revolvimento do solo e a permanência dos restos culturais de cultivos sobre a superfície do solo, o tipo e a quantidade de resíduos provenientes da cultura antecessora tem grande influência sobre a disponibilidade de N do solo para as plantas. Assim, gramíneas e leguminosas possuem diferentes velocidades de decomposição e alteram a disponibilidade de N para o sistema solo-planta.

As condições climáticas também podem alterar a disponibilidade de N em SPD e a resposta das culturas a adubações. Em condições subtropicais e tropicais as elevadas precipitações associadas a aplicações superficiais de N em SPD podem ocasionar baixa eficiência no uso do nutriente, devido à alta mobilidade desse nutriente no solo. Por outro lado, sob condições de baixa precipitação e elevada temperatura pode ocorrer perdas por volatilização.

Assim, embora os teores adequados de N na planta necessários para o bom desenvolvimento e produtividades elevadas já estejam estabelecidos, na maioria das situações é difícil prever a quantidade disponível no solo para a absorção, levando o produtor a incorrer erros no fornecimento do nutriente ocasionando, em muitas situações, insuficiência ou excesso, ocorrendo redução da lucratividade e problemas ambientais.

A utilização de parâmetros de planta avaliados durante o desenvolvimento da cultura torna possível o ajuste da dose a ser aplicada em virtude das condições nutricionais encontradas em tempo real, redistribuindo o nitrogênio na área de forma a maximizar o rendimento e diminuindo o impacto ambiental. Dessa forma, em áreas monitoradas com Agricultura de Precisão (AP), o uso de sensor de espectrometria ótica ativo, como o N-Sensor pode ser uma alternativa eficiente para avaliar o estado nutricional das plantas em desenvolvimento e auxiliar na tomada de decisão da dose a ser aplicada.

O N-Sensor já é utilizado em mais de 20 países em culturas como milho, trigo, arroz, cana-de-açúcar, batata, canola e algodão. Tem como vantagens o diagnóstico da demanda de N antecipada, incremento de rendimento, maior eficiência do N aplicado, maior uniformidade de lavoura e redução do acamamento no trigo, aumentando a eficiência de colheita. Esse equipamento é capaz de, em tempo real, realizar a coleta de informações de biomassa e clorofila, associando-as em um Índice de vigor de biomassa (IVB), e transforma-as em doses de N que são transmitidas para um distribuidor de fertilizantes que irá aplicá-las a taxa variável. Consequentemente, equipamentos capazes de quantificar os teores de biomassa e de clorofila, podem obter melhores resultados que os demais, pela existência de correlação entre teores de clorofila, dose aplicada de N, produção de fotoassimilados, aumento de biomassa da planta e aumento de produtividade.

Outro aspecto positivo é o aumento do número de observações por unidade de área, qualificando mais as informações, excluindo a necessidade de coleta de amostras de planta ou solo para análise em laboratório, sendo capaz de registrar entre 250 e 350 informações de IVB por hectare e atribuir a estas, doses diferentes de N à taxa variada.

2 HIPÓTESE

É possível aumentar a eficiência da fertilização nitrogenada utilizada na cultura do milho e do trigo, utilizando-se a fertilização à taxa variada em tempo real determinada com base no estado nutricional da cultura (Índice de vigor de biomassa), proporcionando com isso maior rentabilidade aos agricultores e menor impacto ambiental.

3 OBJETIVOS DO TRABALHO

3.1 Objetivo geral

Determinar a eficiência da adubação nitrogenada pela fertilização à taxa variada baseada na recomendação do N-sensor em experimentos com milho e trigo em Latossolos do Rio Grande do Sul cultivados em SPD e manejados sob agricultura de precisão.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a eficiência da fertilização à taxa variada e da fertilização a taxa fixa em diferentes doses de N.
- Avaliar a eficiência de uso de diferentes doses aplicadas de adubo nitrogenado determinadas pelos métodos de diagnose do N-Sensor e pelo método tradicional a taxa fixa.
- Determinar a eficiência do diagnóstico do estado nutricional do milho e do trigo pelo N-Sensor.
- Determinar as leituras críticas do clorofilômetro manual (SPAD) para milho e trigo.
- Correlacionar a leitura do N-Sensor com as leituras do clorofilômetro manual (SPAD) e Massa Seca.
- Estabelecer curva de resposta a N em função do rendimento para a cultura do milho.
- Avaliar a variabilidade de rendimento de grãos de trigo e milho com fertilização à taxa variada e com fertilização a taxa uniforme.
- Desenvolver o conceito de fertilização nitrogenada em tempo real e À taxa variada no Sul do Brasil.

CAPÍTULO I

FERTILIZAÇÃO NITROGENADA À TAXA VARIADA EM TEMPO REAL NA CULTURA DO MILHO UTILIZANDO SENSOR ÓTICO

RESUMO

O nitrogênio (N) é o nutriente que mais influencia o rendimento da cultura do milho e características de planta como massa seca e teor relativo de clorofila podem ser mais eficientes que os atributos de solo para a recomendação da adubação nitrogenada. Assim, em áreas manejadas com Agricultura de Precisão, o uso de sensor de espectrometria ótica ativa (N-Sensor) pode ser uma alternativa eficiente para estimar o estado nutricional das plantas e determinar a dose a ser aplicada. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de adubação nitrogenada à taxa variada, com uso do N-Sensor, e correlacioná-los com diferentes parâmetros de planta durante o desenvolvimento da cultura do milho em Latossolos do RS. As análises foram realizadas nos municípios de Tio Hugo e Cruz Alta, com a cultura do milho, avaliando-se o efeito da aplicação de diferentes doses de N à taxa variada e taxa fixa; parâmetros de planta através de leituras com clorofilômetro manual, massa seca, teor de N na massa seca de plantas, correlacionando-as com dados de estimativa de Índice de vigor de biomassa; e dose recomendada pelo N-Sensor e produtividade de milho. Os resultados mostraram que a clorofila medida pelo SPAD foi um indicador precoce para recomendação de adubação nitrogenada em milho, para o experimento conduzido em Tio Hugo. No estágio de desenvolvimento de oito folhas totalmente expandidas, o valor crítico determinado foi de 44,5 valores SPAD. As produtividades para a cultura foram de 8,0 e 7,8 Mg ha⁻¹ para Tio Hugo e Cruz Alta, respectivamente, ficando acima da média da Região Sul, que corresponde a 5,5 Mg ha⁻¹. Os tratamentos que utilizaram o N-Sensor com doses de 150 e 140 kg ha⁻¹ se destacaram com produtividade de 9273 e 8571 kg ha⁻¹ para Tio Hugo e Cruz Alta, respectivamente. Em Tio Hugo obteve-se maior eficiência no uso de N comparada aos resultados de Cruz Alta, evidenciando que as condições climáticas afetaram o uso eficiente de N em Cruz Alta.

Palavras Chave: nitrogênio, *Zea mays*, agricultura de precisão

1 INTRODUÇÃO

Segundo o censo divulgado em maio de 2008, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008), foram 14,4 milhões de hectares cultivados com milho no Brasil, obtendo uma produção de 59 milhões de Mg de grãos, resultando em uma média nacional de 4,10 Mg ha⁻¹, porém, para a Região Sul, a produtividade média de milho foi de aproximadamente 5,57 Mg ha⁻¹.

O nitrogênio (N) é o nutriente que mais influencia o rendimento da cultura do milho sendo, em muitas situações, suprido insuficientemente (AMADO et al., 2002). Dessa forma, a maioria dos solos da Região Sul apresenta disponibilidade insuficiente desse nutriente para suprir plenamente a demanda das plantas cultivadas, mesmo em áreas manejadas com SPD consolidado. A quantidade requerida de N, sob condições climáticas favoráveis para otimizar a produtividade de grãos de milho, pode alcançar valores superiores a 150 kg ha⁻¹, variando a concentração de 0,5 a 3,55% do peso seco (TEDESCO et al., 1995). Entretanto, essas quantidades dificilmente podem ser supridas pelo nitrogênio disponível no solo, sendo assim necessário o fornecimento adicional de outras fontes, tais como a adubação mineral, utilização de leguminosas e fertilizantes orgânicos (AMADO et al., 2002).

Para a recomendação da adubação nitrogenada, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, os critérios utilizados são o teor de matéria orgânica do solo (MOS), a expectativa de rendimento e a cultura antecessora (CQFS – RS/SC, 2004). A MOS é utilizada como parâmetro para adubação nitrogenada por ser considerada a principal fonte de N às culturas, que o disponibiliza após sua mineralização. A expectativa de rendimento altera a recomendação de N, em função de sua exportação, torna-se necessário adequar a disponibilidade às necessidades da planta. A cultura antecessora influencia na disponibilidade de nitrogênio às culturas através do aumento da disponibilidade de nitrogênio para culturas subsequentes a leguminosas (efeito imediato) (DERPSCH, 1985; AMADO et al., 2002; GIACOMINI, 2004). Já para culturas compostas por gramíneas, devido à baixa relação C/N pode ocorrer imobilização de N (AITA et al., 2001; PAVINATO et al., 1994; SILVA et al., 2006).

Assim, o teor de MOS tem sido utilizado para prever a disponibilidade de N no solo, na ausência de melhores índices (ANGHINONI, 1985; CQFS – RS/SC, 2004). Porém, a mineralização do N, é influenciada por vários fatores como a textura do solo, temperatura,

umidade e pH, além do método de preparo do solo e cultura antecessora de forma heterogênea na lavoura.

Assim o método tradicional pode ocorrer em determinações incorretas para determinados pontos da lavoura, uma vez que a disponibilidade de N é muito influenciada durante o desenvolvimento da cultura. Podendo em condições climáticas adversas, condicionadas pelo teor de MOS, textura do solo, época e método de aplicação do fertilizante, o N torna-se um nutriente facilmente perdido por lixiviação, volatilização e desnitrificação no solo, atingindo perdas nas regiões subtropicais, que podem alcançar entre 20 a 78 % da quantidade total aplicada (FONTOURA, 2009), podendo, assim, ocasionar a adubação nitrogenada.

Dessa forma, novas alternativas para fertilização nitrogenada visando o incremento da eficiência estão sendo investigados incluindo métodos para determinação da dose a ser aplicada com base no estado nutricional das plantas, sobressaindo-se os métodos não destrutivos e de rápida análise (ARGENTA et al., 2003; ARGENTA et al., 2004).

De acordo com Rambo et al. (2008), as características mais eficientes para recomendação da dose ótima de N a ser aplicada em cobertura para o milho são a massa seca (MS) e o N acumulado na planta, seguidas do teor relativo de clorofila estando fundamentada na relação do teor de clorofila da folha com o teor de N total na planta e a atividade fotossintética (SINCLAIR e HORIE, 1989; WASKOM et al., 1996; ARGENTA et al., 2001; RAMBO et al., 2004). Essa relação justifica-se uma vez que o nitrogênio é o principal constituinte da clorofila que está ligada aos cloroplastos em um percentual de 50 a 70% do N total das folhas (CHAPMAN e BARRETO, 1997). Além disso, o teor relativo de clorofila na folha não está associado com o consumo de luxo de N, sob forma de nitrato (BLACKMER e SCHEPERS, 1995).

Dessa forma, a disponibilidade de N para cultivos agrícolas pode ser avaliada indiretamente através da utilização de sensores que estimam os teores de clorofila (ARGENTA et al., 2001). O desenvolvimento de equipamentos portáteis, denominado clorofilômetro, como o Minolta SPAD-502[®] (“Soil Plant Analysis Development”), permitiu a avaliação de valores indiretos do teor de clorofila presente nas folhas (MINOLTA, 1989). Os valores obtidos são proporcionais ao teor de clorofila presente na folha, conforme estudos realizados para a cultura do milho (DWYER et al., 1995; ARGENTA et al., 2002) e, por estar correlacionada com o rendimento de grãos, tem sido utilizada para estimar a necessidade de adubação nitrogenada, em cobertura, para várias culturas e especialmente o milho

(BLACKMER e SCHEPERS, 1995; WASKOM et al., 1996; VARVEL et al., 1997; ARGENTA et al., 2003).

Em contrapartida, a eficiente utilização do clorofilômetro depende da determinação de valores críticos para a cultura do milho. Segundo Rambo et al. (2004) a utilização de valores críticos pressupõe que, para cada estágio de desenvolvimento da cultura, haja um valor mínimo do teor relativo de clorofila (teor crítico) que a planta deve apresentar em função da leitura com o clorofilômetro e o uso de um índice de suficiência de N. Com base nesse teor crítico pode ser definida a aplicação ou não da adubação.

Atualmente, tornou-se possível integrar na lavoura dados de solo e planta para a geração de informações de manejo (SANTI, 2007). Assim, em áreas monitoradas com Agricultura de Precisão (AP), o uso de sensor de espectrometria ótica ativo pode ser uma alternativa eficiente para estimar a disponibilidade de N e auxiliar na tomada de decisão da dose complementar (POVH et al., 2007). Isso resolveria um dos problemas da AP para a aplicação à taxa variada de fertilizantes nitrogenados, pois a utilização de mapas de colheita e a MOS, não oferecem total segurança na tomada de decisão da quantidade de N a ser fornecido via adubação para as plantas, diferentemente do fósforo (P), potássio (K) e até mesmo da calagem, cujas disponibilidades são menos influenciadas pelas condições climáticas, sendo os atributos de solo eficientes em estimar a disponibilidade desses nutrientes.

Ainda, de acordo com Lemainski (2007), áreas que possuem diferentes potenciais de rendimento, devido a sua heterogeneidade, podem necessitar aplicações dos insumos de produção de forma variável, na tentativa de homogeneizar a produtividade e/ou reduzir custos para, conseqüentemente, aumentar a rentabilidade da área.

Na atualidade, vários trabalhos relatam a utilização de sensores óticos (ARGENTA et al., 2003; FREEMAN, 2003; POVH, 2007). A espectrometria ótica se baseia na premissa de que pigmentos como a clorofila, absorvem a radiação nos comprimentos de onda dentro do espectro do visível, enquanto que a radiação no infravermelho próximo é refletida pela folha (MINOLTA, 1989). Dessa forma, através da determinação da clorofila pode-se obter uma estimativa indireta do status nutricional da planta, pois grande parte do nitrogênio está presente nessa molécula (MINOLTA, 1989; LEMAIRE, 1997; ARGENTA et al., 2003; RAMBO et al., 2004).

Porém, em alguns casos, os parâmetros de clorofila podem tornar-se incorretos, devido a diferenças encontradas entre as folhas de diferentes estratos do dossel vegetativo e características intrínsecas como espessura foliar e conteúdo de água em diferentes tecidos (WASKOM, 1996). Dessa forma, equipamentos capazes de quantificar biomassa e teores de clorofila, podem obter melhores resultados que os demais. Assim, foi desenvolvida uma nova forma de determinação racional da quantidade de fertilizante nitrogenado com a utilização de equipamentos acoplados a máquinas agrícolas para estimar a necessidade de N a uma curta distância das plantas. Isso é feito em forma de escaneamento conforme o deslocamento do trator, como é o caso do equipamento objeto desse estudo (N-Sensor ALS[®], YARA), aumentando o número de observações realizadas por unidade de área, dispensando a necessidade de análises em laboratório ou determinações com clorofilômetros manuais a campo, assegurando agilidade na execução da adubação.

O primeiro equipamento introduzido no Brasil em 2008 foi disponibilizado ao Projeto Aquarius em que as empresas YARA e STARA, integrantes do projeto, através de suas equipes técnicas, adequaram a troca de informações entre o sensor e o distribuidor de fertilizantes, possibilitando a realização da adubação nitrogenada à taxa variada em tempo real.

Assim, pelo exposto, este trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência da adubação nitrogenada à taxa variada em tempo real, determinado com sensor ótico ativo (N-Sensor), em condições de áreas comerciais de milho no Planalto do RS.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho constou de dois experimentos com a cultura do milho realizados a campo, no Planalto do Rio Grande do Sul, em áreas manejadas sob SPD consolidado em Latossolos Vermelhos (EMBRAPA, 1999) e relevo suavemente ondulado.

A região se caracteriza por apresentar um clima Cfa, subtropical úmido com incidência de estiagens no verão e outono segundo a classificação de Köppen (1948). Com índice pluviométrico entre 1600 a 1900 mm ano⁻¹. A temperatura média anual fica próxima a 19,5°C e a uma altitude entre 450 a 600 metros. Em ambas as áreas não foi utilizada irrigação adicional às culturas e os dados pluviométricos são apresentados nos Anexos A e B, para Tio Hugo e Cruz Alta, respectivamente.

Para avaliação de espectrometria ótica, foi utilizado o aparelho N-Sensor ALS[®] (YARA) (Figura 1), que indicou a quantidade de N a ser aplicada à taxa variada, conforme distribuição horizontal do “vigor de biomassa” das plantas de milho, registrando os dados de Índice de vigor de biomassa (IVB) e dose de N recomendada.



Fonte: YARA, 2008.

Figura 1 - N-Sensor ALS[®] (YARA), sensor ótico ativo capaz de realizar a determinação da dose de N a ser aplicada à taxa variada em tempo real.

A determinação da dose a ser aplicada foi obtida através de uma equação de calibração estabelecida previamente pelo fabricante do equipamento, repassando as informações ao distribuidor de fertilizantes equipado com distribuidor de taxa variada. Todos os dados observados foram armazenados em cartão de memória portátil.

Por ser um sensor ótico ativo (capaz de emitir ondas espectrais), é possível realizar operações sem presença de luminosidade adicional e não sendo influenciado pela luminosidade solar. O equipamento foi acoplado na parte superior da cabine do trator, realizando um “escaneamento” lateral ao deslocamento do trator (3 m para cada lado do trator) (Figura 2).



Fonte: Projeto Aquarius.

Figura 2 – Ilustração de “escaneamento” do N-Sensor ALS[®] para aplicação à taxa variada em tempo real de fertilizante nitrogenado.

Para o correto funcionamento do aparelho, foi realizada uma calibração antes da execução dos trabalhos de aplicação, informando ao software do N-Sensor dados sobre o produto utilizado como fertilizante nitrogenado e a quantidade percentual de N nesse, o estágio de desenvolvimento da cultura, seguindo recomendação do manual do fabricante, assim como a dose máxima e a mínima a ser aplicada na área. Dessa forma, através de uma equação de calibração estabelecida pelo fabricante, o equipamento determinou a dose a ser aplicada.

Para determinação de MS foram coletadas cinco plantas lineares por ponto amostral georreferenciados (sempre no mesmo local) através do corte rente ao solo, e posteriormente foram secas em estufa a 65° C até peso constante. Após essa etapa, as plantas foram moídas em um moedor de tecido vegetal, sendo retirada uma amostra para determinação de N Total absorvido seguindo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

As determinações das medidas de leitura com clorofilômetro manual (SPAD – 502[®]) foram realizadas nos mesmos pontos georreferenciados, através da leitura em cinco plantas, sempre na última folha totalmente expandida para os estádios de desenvolvimento vegetativo e na folha oposta a espiga para os estádios de desenvolvimento reprodutivos. Dessa forma, foi estabelecida a média de três leituras para cada folha (terço inferior da folha, terço médio da folha e terço superior da folha) seguindo metodologia descrita em Argenta (2001).

Para determinação de produtividade manual, foi realizada coleta manual de espigas em dois metros lineares de duas fileiras. Posteriormente as espigas foram debulhadas, e a massa de grãos obtida foi submetida à limpeza através de catação manual de partículas grosseiras e corrente de ar forçada para partículas mais leves. Posteriormente a umidade foi corrigida para 13% para a determinação da produtividade coletada manualmente.

A colheita mecanizada foi efetuada com colhedora equipada com sensor de produtividade, previamente calibrado. Posteriormente os dados de colheita mecanizada passaram por um tratamento (desconto de impurezas e correção da umidade para 13%) e filtragem de dados para eliminar possíveis erros como os descritos em Santi (2007). Os mapas e interpolação de dados georreferenciados foram gerados através do software Sistema CR-Campeiro 6[®] (GIOTTO e ROBAINA, 2007).

2.1 EXPERIMENTO 1 – Localizado em Tio Hugo - RS

2.1.1 Localização e Histórico de cultivo da área experimental

O experimento foi conduzido a campo em uma área localizada em Tio Hugo – RS, pertencente à Família Marquetti, com localização geográfica S 28 35' 11.61179" W 52 36' 51.30014". A área é cultivada em SPD há aproximadamente 12 anos, sendo integrante do Projeto Aquarius desde 2005 (PROJETO AQUARIUS, 2009), com histórico de mapas de produtividade e fertilização de fósforo e potássio à taxa variada (Tabela 1).

Tabela 1 - Histórico dos cultivos antecedendo este estudo no período de 2006 a 2008 para a área experimental localizada em Tio Hugo.

Época de Cultivo	2006		2007		2008	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Cultura	Soja	-	Soja	-	Soja	Aveia
Produtividade*	3,6	-	2,6	-	2,3	6,5

*Produtividade média de grãos para as culturas de milho e soja ($Mg\ ha^{-1}$), e produtividade média de massa seca para as culturas ($Mg\ ha^{-1}$).

Por ocasião do término dos cultivos de inverno no ano de 2008, foram coletadas amostras de solo para determinação dos teores de MOS, com o auxílio de um trado calador, coletando-se 15 subamostras nas linhas e entrelinhas dos cultivos conforme recomendações da CQFS – RS/SC (2004), formando uma amostra composta para cada ponto de coleta georreferenciado na malha de amostragem, na profundidade de 0 - 0,10 m. Posteriormente o solo foi seco em estufa a 60° C até peso constante e triturado e peneirado com malha de 2 mm. A metodologia utilizada para a determinação da MOS foi Walkely Black, descrita por Tedesco et al. (1995).

A camada de solo de 0 – 0,10 m na área experimental apresentou em média 640,0 g kg⁻¹ (Tabela 2) enquadrando-se, portanto, como solo pertencente à Classe Textural 1 (CQFS – RS/SC, 2004).

Tabela 2 - Resultados das análises granulométricas e químicas do solo, para a camada 0 -10 m de profundidade para a área experimental localizada em Tio Hugo.

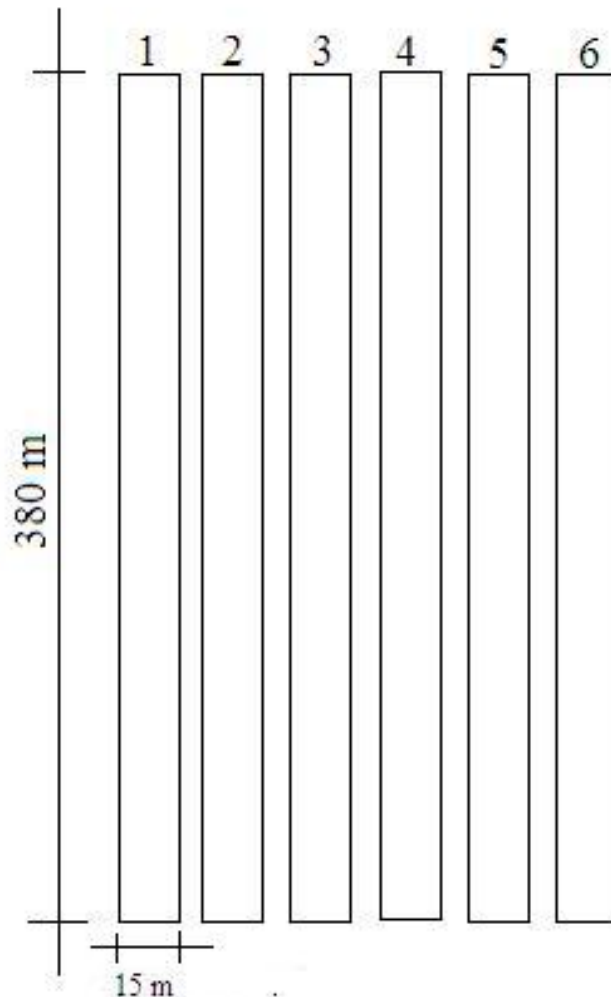
Profundidade m	Argila g kg ⁻¹	pH 1:1	MOS %	P mg dm ⁻³	K -----cmol _c dm ⁻³ -----	Al	Ca	Mg	CTC %
0 - 0,10	640,0	5,8	2,8	16,3	0,416	0,0	6,1	4,6	13,0

2.1.2 Desenho Experimental

No experimento conduzido, foram avaliados os seguintes tratamentos: (a) 27TF – Dose 27 kg ha⁻¹ de N distribuídos a taxa fixa na base de semeadura (Testemunha); (b) 80TF – Dose 80 kg ha⁻¹ de N distribuídos a taxa fixa; (c) 120TF – Dose 120 kg ha⁻¹ de N distribuídos a taxa fixa; (d) 140TF – Dose 140 kg ha⁻¹ de N distribuídos a taxa fixa; (e) 150TV – Dose 150 kg ha⁻¹ de N distribuído à taxa variada baseada no sensor de espectrometria ótica ativa (N-Sensor); (f) 160TF – (Dose 160 kg ha⁻¹ de N distribuídos a taxa fixa). Os tratamentos possuíam apenas uma parcela experimental (Figura 3).

Os critérios para a determinação das doses utilizadas foram: dose 120 kg ha⁻¹ de N (tradicionalmente utilizada pelos agricultores), 140 kg ha⁻¹ de N (dose indicada pela CQFS-RS/SC, (2004) com base no teor de MOS, cultura de cobertura aveia e expectativa de rendimento de 8,5 Mg ha⁻¹), 150 kg ha⁻¹ de N (aplicação à taxa variada indicada pelo N-Sensor), e 160 kg ha⁻¹ de N (dose que geralmente maximiza-se o rendimento na região de

cultivo). Cada parcela possuía dimensões de 15 X 380 m, seguindo o sentido das fileiras de plantio do milho, totalizando 5700 m² por parcela e área experimental de 3,42 ha. Os tratamentos testados constituíram de uma única parcela, sem repetições.



*Parcelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 representam, respectivamente, os tratamentos 27TF, 80TF, 120TF, 140TF, 150TV e 160TF.

Figura 3 - Croqui do experimento realizado em Tio Hugo, RS. 2009.

2.1.3 Condução experimental e parâmetros avaliados

Procedeu-se o experimento em semeadura direta, em sucessão a aveia (*Avena strigosa*), no dia 4 de setembro de 2008, com o híbrido de milho Pioneer 30F53, utilizando-se espaçamento entre linhas de 0,45m com densidade de sementes de aproximadamente 80.000 sementes ha⁻¹. A semeadora utilizada estava equipada com sistema de sulcador para deposição de adubo a 0,07 m de profundidade e sistema para deposição de sementes a 0,03 m de

profundidade. A adubação de base foi efetuada na linha com 27 kg ha⁻¹ de N, 69 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 84 kg ha⁻¹ de K₂O. As sementes foram previamente tratadas com Inseticida GAUCHO FS (Imidacloprid) na dosagem de 100 mL para cada 20 kg de semente. No dia 3 de outubro (30 DAS) foi aplicada herbicida sistêmico GESAPRIN GrDA (Atrazina) na dosagem de 3,3 kg ha⁻¹. Aos 40 DAS foi determinada o estande de plantas, com densidade populacional de 55.000 plantas ha⁻¹.

Seguindo recomendação da CQFS – RS/SC (2004), no estágio vegetativo de quatro folhas totalmente expandidas foi realizada a primeira adubação de cobertura (45 DAS) no dia 19 de outubro, aplicando-se 32 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia (46%), a taxa fixa. No dia 14 de novembro as plantas encontravam-se no estágio vegetativo de oito folhas totalmente expandidas (73 DAS), quando foi realizada a segunda aplicação de fertilizante nitrogenado seguindo recomendação da CQFS – RS/SC (2004), na forma de uréia (46%), complementar as doses pretendidas.

A adubação de cobertura foi realizada uniformemente a lanço, com exceção do tratamento Testemunha (sem aplicação) e ao 150TV, com o auxílio de distribuidor centrífugo de fertilizantes (Hércules 7000[®], STARA), acoplado ao sistema de reboque do trator, ou seja, de arrasto, previamente calibrado. Foram aplicados 21, 61, 81, 101 kg ha⁻¹ de N a taxa fixa nos tratamentos 80TF, 120TF, 140TF e 160TF, respectivamente. No tratamento 150TV, utilizou-se a determinação do N-Sensor com uma dose média de 91 kg ha⁻¹.

Para os estádios vegetativos de desenvolvimento de 4, 8 e 12 folhas, estádios reprodutivos de desenvolvimento das plantas, florescimento e grão leitoso, foram realizadas coletas de plantas para determinação da MS e N absorvido e determinadas as medidas de leitura de clorofilômetro manual. Tomou-se o cuidado de realizar as coletas antes da aplicação do fertilizante nitrogenado, em nove pontos georreferenciados distanciados 40 metros (sempre no mesmo local), dispostos ao longo da faixa de aplicação.

As plantas atingiram o estágio vegetativo de 12 folhas totalmente expandidas no dia 27 de novembro (86 DAS), quando foi realizada a terceira leitura de SPAD e coleta de MS. No dia 18 de dezembro chegaram ao florescimento com 107 DAS onde foi realizada a quarta leitura de SPAD e coleta para determinação de MS. A quinta coleta de dados de MS e SPAD foram realizadas aos 130 DAS (no dia 10 de janeiro) no estágio reprodutivo de Grão leitoso.

Para determinação de produtividade manual, foi realizada coleta nas nove repetições onde haviam sido realizadas as coletas de MS e em pontos intermediários a estes, totalizando 19 pontos de coleta para a determinação da produtividade, distanciados a cada 20 metros. A

colheita mecanizada foi efetuada com uma Colhedora IDEAL 9075 equipada com sensor de produtividade Cara[®], previamente calibrado.

Posteriormente os dados obtidos a partir das doses de N aplicadas foram submetidos à análise de variância seguida de regressões polinomiais através do pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000). A determinação das correlações entre os parâmetros analisados foi realizada através do pacote estatístico ASSISTAT (SILVA, 2008). A análise geoestatística foi efetuada através do software Sistema CR-Campeiro 6[®] (GIOTTO e ROBAINA, 2007).

2.2 EXPERIMENTO 2 – Localizado em Cruz Alta - RS

2.2.1 Localização e Histórico de cultivo da área experimental

O experimento foi conduzido a campo, em uma área experimental da Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotrig (FUNDACEP - CCGL), em Cruz Alta - RS, com localização geográfica S 28 35' 11.61179" W 52 36' 51.30014". A área é cultivada em SPD há aproximadamente 23 anos, com produção de milho e soja em cultivos de verão e trigo e aveia nos cultivos de inverno. O cultivo de trigo no inverno de 2008 obteve produtividade média de 3,2 Mg ha⁻¹.

Na camada de 0 – 0,10 m, o solo da área experimental apresentou em média 500,0 g kg⁻¹ de argila, portanto, pertencente à Classe Textural 2 (CQFS – RS/SC, 2004). Os teores médios dos nutrientes são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados das análises granulométricas e químicas do solo, para a camada 0-10 m de profundidade para a área experimental localizada em Cruz Alta.

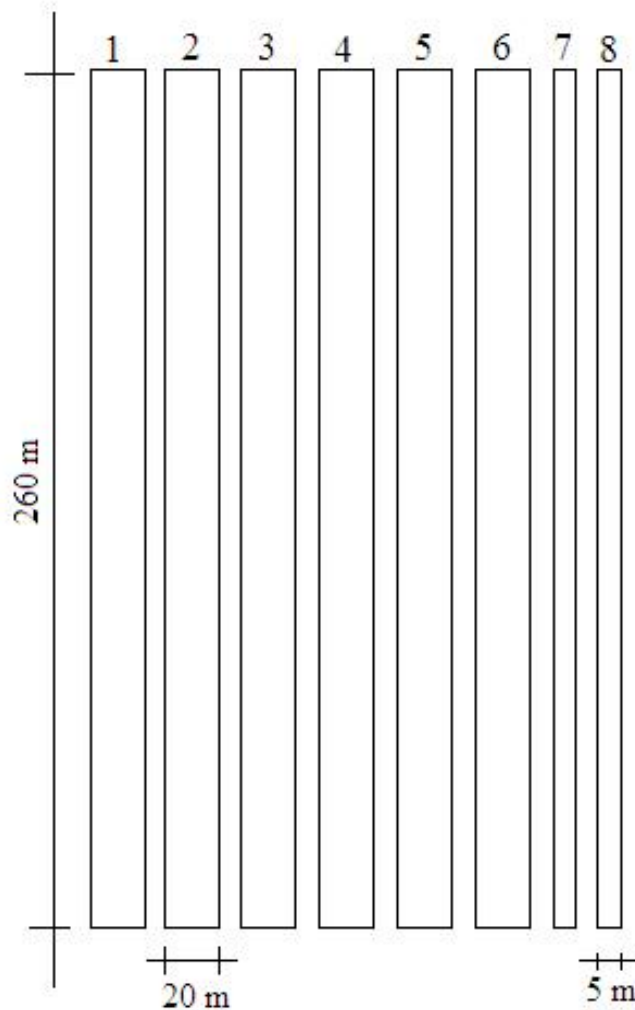
Profundidade m	Argila g kg ⁻¹	pH 1:1	MOS %	P mg dm ⁻³	K -----cmol _c dm ⁻³ -----	Al	Ca	Mg	CTC %
0 - 0,10	500,0	5,1	3,8	17,2	0,414	0,2	5,1	2,1	12,0

2.2.2 Desenho Experimental

No experimento conduzido, foram avaliados os seguintes tratamentos: (a) T - Dose 0 kg ha⁻¹ de N (Testemunha); (b) 140TF - Dose 140 kg ha⁻¹ de N distribuídos a taxa fixa; (c)

140TV - Dose 140 kg ha⁻¹ de N distribuídos à taxa variada, utilizando a dose recomendada pelo N-Sensor; (d) 240TF – Dose 240 kg ha⁻¹ de N distribuídos a taxa fixa.

A dose 140 kg ha⁻¹ de N aplicada à taxa fixa é indicada pela CQFS-RS/SC (2004) para expectativa de rendimento de 8,0 Mg ha⁻¹, a dose 140 kg ha⁻¹ de N aplicada à taxa variada indicada pelo N-Sensor, 240 kg ha⁻¹ sendo máxima dose utilizada neste experimento. Os tratamentos com dose de 140 kg ha⁻¹ foram dispostos em faixas segundo o sentido das fileiras de plantio do milho, com dimensões de 20 x 260 m, totalizando 5200m² por parcela, enquanto que as faixas da Testemunha e a dose 240 kg ha⁻¹ apresentavam dimensões de 5 x 260 m, totalizando 1300 m² por parcela. As doses 140 kg ha⁻¹ de N a taxa fixa e à taxa variada constituíram-se de três repetições, enquanto que 0 kg ha⁻¹ de N e 240 kg ha⁻¹ de N compuseram apenas uma repetição (Figura 4). A área experimental total foi de 3,38 ha.



*Parcelas 1, 3 e 5 representam o tratamento 140TF, parcelas 2, 4 e 6 representam o tratamento 140TV, parcela 7 e 8 representam os tratamentos 240TF e T, respectivamente.

Figura 4 - Croqui do Experimento localizado em Cruz Alta.

2.2.3 Condução experimental e parâmetros avaliados

Procedeu-se o experimento em semeadura direta, em sucessão ao trigo (produtividade média de 2,4 Mg ha⁻¹), no dia 5 de dezembro de 2008 com o híbrido de milho Pioneer 30F53 utilizando-se espaçamento entre linhas de 0,70 m e densidade de aproximadamente 70.000 sementes ha⁻¹. A semeadora utilizada era equipada com sistema de sulcador para deposição de adubo a, aproximadamente, 0,07 m de profundidade e sistema para deposição de sementes a, aproximadamente, 0,03 m de profundidade.

A adubação de base dos tratamentos com 140 kg ha⁻¹ de N foi efetuada na linha com 250 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado (8-28-18), correspondendo a 20 kg ha⁻¹ de N, 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 44 kg ha⁻¹ de K₂O. Para os tratamentos 0 e 240 kg ha⁻¹ de N a adubação de base foi efetuada através de uma mistura de superfosfato triplo e cloreto de potássio, correspondendo a 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 44 kg ha⁻¹ de K₂O, aplicado a linha de semeadura. Imediatamente após emergência, foram aplicados 90 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia (46% de N). Posteriormente no estágio de quatro folhas, no dia 6 de janeiro de 2009 (31 DAS), foram aplicados 90 kg ha⁻¹ de N, e no estágio vegetativo de oito folhas totalmente expandidas, no dia 22 de janeiro de 2009 (48 DAS), foi aplicado 60 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia (46% de N).

Para os tratamentos com 140 kg ha⁻¹ de N, seguindo recomendação da CQFS – RS/SC (2004), no estágio vegetativo de quatro folhas totalmente expandidas foi realizada a primeira adubação de cobertura, aplicando-se 40 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia (46%). No estágio vegetativo de oito folhas totalmente expandidas (48 DAS), quando foi realizada a segunda aplicação de fertilizante nitrogenado, na forma de uréia (46%), complementar as doses pretendidas, sendo realizada uniformemente a lanço para os tratamentos, com exceção do tratamento Testemunha (sem aplicação) e o tratamento 140TV, com o auxílio de distribuidor centrífugo de fertilizantes (Hércules 7000[®], STARA), acoplado ao sistema de reboque do trator, ou seja, de arrasto, previamente calibrado.

Dessa forma, para a avaliação da realocação do fertilizante nitrogenado para as doses de 140 kg ha⁻¹ aplicadas à taxa variada em função do estado nutricional do milho em comparação a taxa fixa, foi efetuado o deslocamento do conjunto pela área, informando a dose média a ser aplicada, para captar a variabilidade do estado nutricional. De posse dessas informações o N-Sensor efetuou a realocação de insumos.

No estágio de oito folhas, procedeu-se a diferenciação da dosagem de N na segunda aplicação de cobertura de N, onde o tratamento T permaneceu sem aplicação (Testemunha) e os demais 80 e 180 kg ha⁻¹ de N a taxa fixa, nos tratamentos 140TF e 240TF, respectivamente. No tratamento 140TV, utilizou-se a determinação do N-Sensor com uma dose média de 80 kg ha⁻¹.

Para os estádios vegetativos de desenvolvimento de oito e 12 folhas, e estágio de florescimento, foram determinadas as medidas de leitura de clorofilômetro manual (SPAD), e nos estádios de oito folhas e florescimento, coletadas plantas para determinação da MS e N absorvido, seguindo mesma metodologia descrita no Experimento 1, tomando-se o cuidado de realizar as coletas antes da aplicação do fertilizante nitrogenado, em 12 pontos georreferenciados distanciados 20 m (sempre no mesmo local) para os tratamentos 140TF e 140TV, enquanto que para os tratamentos T e 240TF a distância foi de 10 m.

As plantas atingiram o estágio vegetativo de 12 folhas totalmente expandidas no dia 6 de fevereiro de 2009 (63 DAS), quando foi realizada a determinação de SPAD e coleta de MS. No dia 27 de fevereiro do mesmo ano, durante o estágio de florescimento (84 DAS), foi realizada a terceira determinação de SPAD e coleta de MS. A determinação de produtividade manual foi realizada nos mesmos pontos onde haviam sido realizadas as coletas de MS e determinação de SPAD e em pontos intermediários a estes. A colheita mecanizada foi efetuada com uma Colhedora MF 32, equipada com sensor de produtividade FIELDSTAR[®], previamente calibrado.

Os dados obtidos a partir das doses de N aplicadas foram submetidos à análise de variância e realizado estudo de regressões polinomiais através do pacote estatístico ASSISTAT (SILVA, 2008). A análise geoestatística foi efetuada através do software Sistema CR-Campeiro 6[®] (GIOTTO e ROBAINA, 2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Índice de vigor de biomassa de plantas de milho e aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado utilizando o N-Sensor

3.1.1 Experimento 1 – Tio Hugo - RS

Foram registrados 145 pontos georreferenciados com informações de IVB e recomendação de dose a ser aplicada pelo N-Sensor, representando uma média de 254 registros ha^{-1} .

Para a média das aplicações de cobertura do tratamento obteve-se $89,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, o que representa uma diferença de apenas 1,2% do planejado de 91 kg ha^{-1} de N, previamente estabelecido. Observou-se que cerca de 70% das doses aplicadas coincidiram com a média indicada, sendo que 15,17% ficaram abaixo da média e 14,48 % ficaram acima. Esses resultados justificam a decisão de utilizar a distribuição à taxa variada dos fertilizantes nitrogenados. A frequência dos IVB e das doses recomendadas pelo N-Sensor poderão ser vistas na Figura 5.

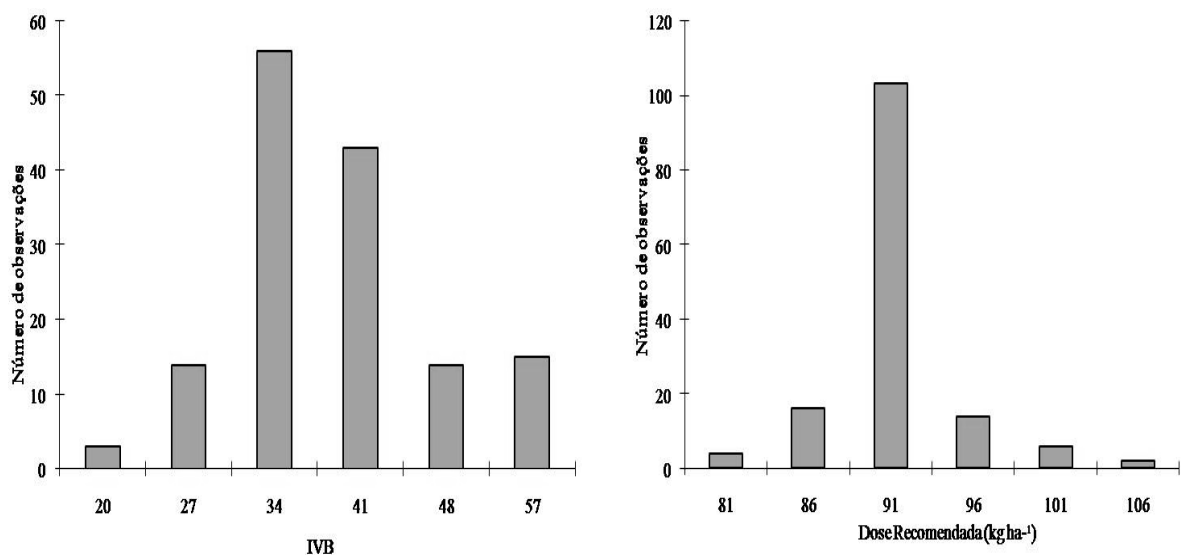


Figura 5 - Frequência de IVB e das doses recomendadas pelo N-Sensor para milho no experimento localizado em Tio Hugo, RS. 2009.

De acordo com os dados da análise da estatística descritiva (Tabela 4), encontrou-se a existência de variabilidade espacial de IVB no tratamento com aplicação de N à taxa variada utilizando o N-Sensor, justificando-se o uso de aplicações à taxa variada de N. Segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), o CV de 21% foi classificado como médio para as leituras de IVB, porém os dados de recomendação de dose a ser aplicada, apresentaram CV de 5%, sendo classificado como baixo.

Essa distinção foi atribuída a falhas de comunicação entre o N-Sensor e o distribuidor de fertilizantes à taxa variada encontradas durante a execução da operação, onde o equipamento N-Sensor recomendava a aplicação da taxa média de 91 kg ha⁻¹ de N, previamente estabelecido em caso de ocorrência de problemas, sendo apenas visualizado o equívoco após a aplicação no momento de qualificação dos resultados de aplicação.

Os dados geoestatísticos (Tabela 4), foram ajustados pelo modelo esférico, estando de acordo com Salviano et al. (1998), Silva et al. (2003) e Amado et al. (2009), que observaram que este modelo é o que mais frequentemente tem se adaptado a atributos de solo e planta nos ajustes de semivariogramas.

Tabela 4 - Análise estatística e geoestatística descritivas dos dados de Índice de vigor de biomassa e dose recomendada pelo N-Sensor, para o tratamento com aplicação à taxa variada da dose 150 Kg ha⁻¹ de N em milho. Tio Hugo, RS, 2009.

Parâmetros Estatísticos	IVB (Valor SN)	Dose Recomendada (kg ha ⁻¹)
Valor Mínimo	27,9	77,0
Valor Máximo	52,9	93,0
Média	35,5	89,9
Variância	58,9	21,9
DP (%)*	7,6	4,6
CV	0,21	0,05

Parâmetros Geoestatísticos	IVB (Valor SN)	Dose Recomendada (kg ha ⁻¹)
Efeito Pepita	15,77	8,88
Patamar	69,50	14,11
Alcance (m)	15,0	6,0
IDE (%)	77,0	63,0
Classe	Forte	moderado

*DP: Desvio Padrão, CV: Coeficiente de Variação. Efeito Pepita- C0; Patamar C0 + C1; Alcance: distância após o qual os valores das observações não são correlacionados espacialmente. IDE: Índice de Dependência Espacial (forte: >75%; moderada 74% - 26%; fraca <25%), segundo classificação de Cambardella et al., (1994) modificada por Silva et al., (2003).

Os resultados do alcance dos semivariogramas ajustados de dose recomendada permaneceram em 6 m, enquanto que o de IVB foi de 15 m, sendo explicados pelo grande volume de dados coletados a uma distância razoavelmente próxima (2 a 3 m), quando comparado a análise dos atributos de solo (exemplo 100 m em coletas de solo para análise química em grides de um ponto por ha (Santi, 2007)), ficando muito próxima da realidade encontrada com mapas de produtividade de milho (Amado et al., 2007), onde os pontos representam uma trilha sequencial. Dessa forma, os resultados encontrados foram transformados em mapas de IVB e dose recomendada (Figura 6), com auxílio do Software Campeiro 6 (GIOTTO e ROBAINA, 2007), facilitando a visualização dos resultados e da variação encontrada no Tratamento com aplicação à taxa variada de N.

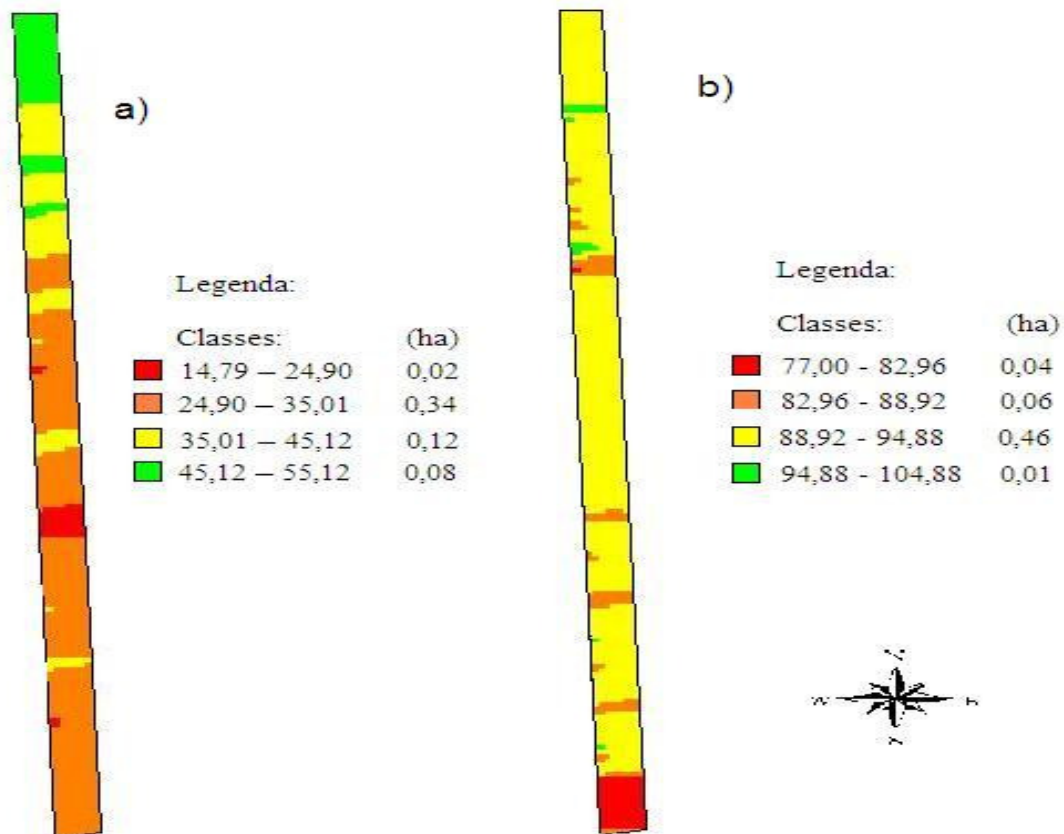


Figura 6 - Mapa de IVB (a) e dose recomendada de N (kg ha^{-1}) (b) pelo N-Sensor para a cultura do milho com aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado. Tio Hugo, RS. 2009.

3.1.2 Experimento 2 – Cruz Alta - RS

No experimento realizado em Cruz Alta, foram registrados em média 155 diferentes pontos de IVB e dose recomendada de N para cada repetição, o que representaria 310 registros ha^{-1} . Considerando-se como referência a média indicada para a aplicação (80 kg ha^{-1}), observou-se a existência de faixas com distintas necessidades de N, representadas pelas repetições de campo (Tabela 5), e dentro da mesma faixa de aplicação a existência de pontos com maior ou menor necessidade, correspondendo à variabilidade encontrada no estágio vegetativo de oito folhas, demonstrando assim a necessidade de aplicações de N em cobertura no milho à taxa variada.

Tabela 5 - Análise estatística e geoestatística descritivas de Índice de vigor de biomassa e dose recomendada pelo N-Sensor, para o tratamento com aplicação à taxa variada da dose 140 Kg ha⁻¹ de N em milho. Fundacep, Cruz Alta, RS, 2009.

Parâmetros Estatísticos	IVB (Valor SN)				Dose Recomendada (kg ha ⁻¹)			
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Tratamento
Valor Mínimo	45,4	45	56,7	45,0	61,9	71,7	62,8	61,9
Valor Máximo	82,7	87	88,5	88,5	93,6	104,9	92,9	104,9
Média	65,4	70,6	72,3	69,2	78,1	86,4	73,08	79,4
Variância	69,2	60,4	58,6	70,3	58,5	81,4	24,2	85,9
DP (%)*	8,3	7,7	7,6	8,3	7,6	9,0	4,9	9,2
CV	0,13	0,11	0,10	0,12	0,10	0,10	0,07	0,12

Parâmetros Geoestatísticos	IVB (Valor SN)			Dose Recomendada (Kg ha ⁻¹)		
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3
Efeito Pepita	9,4	20,7	10,5	9,4	20,8	10,5
Patamar	24,3	100,5	58,8	24,4	81,9	58,8
Alcance (m)	12,0	18,0	27,0	12,0	18,0	27,0
IDE (%)	61,0	79,0	82,0	61,0	74,0	82,0
Classe	Moderada	Forte	Forte	Moderada	Forte	Forte

*DP: Desvio Padrão, CV: coeficiente de Variação. Efeito Pepita- C0; Patamar C0 + C1; Alcance: distância após o qual os valores das observações não são correlacionados espacialmente. IDE: Índice de Dependência Espacial (forte: >75%; moderada 74% - 26%; fraca <25%), segundo classificação de Cambardella et al., (1994) modificada por Silva et al., (2003).

Assim, para a repetição 1 do tratamento com aplicação à taxa variada de N resultou em 89,03% dos pontos que receberam dose de N inferior a média planejada, enquanto que 5,81% correspondiam a dose média planejada e 5,16% ficaram acima da média. Já na Repetição 2, apenas 20% receberam abaixo do desejado, 12,9% correspondiam ao desejado e 67,10% indicavam uma dose superior a esperada. Enquanto que, na Repetição 3, 55,48% estavam abaixo, 7,74% correspondiam ao planejado e 36,78% necessitaram de uma dose maior do que a planejada. Dessa forma, em média, foi aplicada uma dose inferior a dose planejada de 80 kg ha⁻¹ de N em 55,48% dos pontos, e 36,78% foram superiores, enquanto que apenas 7,74% corresponderam à dose planejada. Os histogramas de frequência dos IVB e das doses recomendadas pelo N-Sensor poderão ser vistas na Figuras 7 e 8.

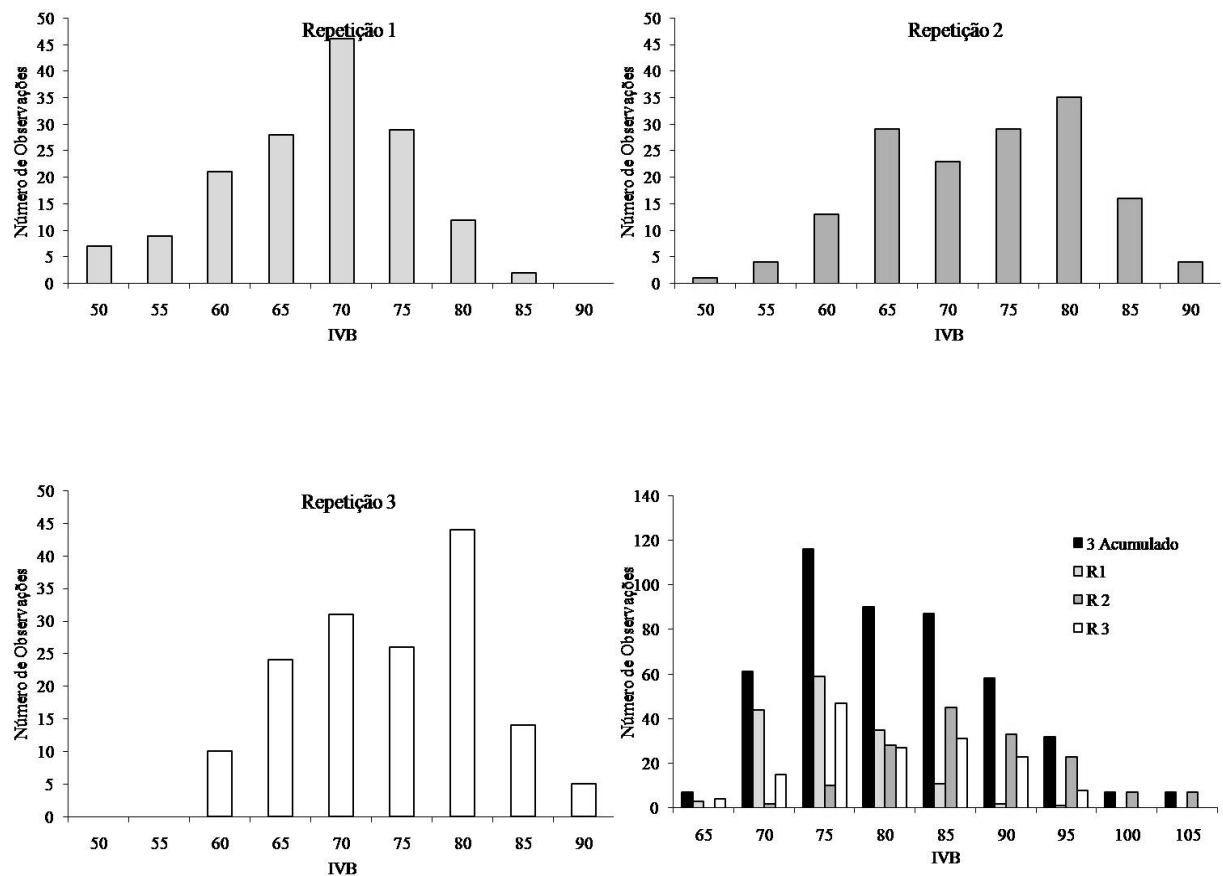


Figura 7 - Frequência de IVB de milho no experimento localizado em Cruz Alta, RS. 2009.

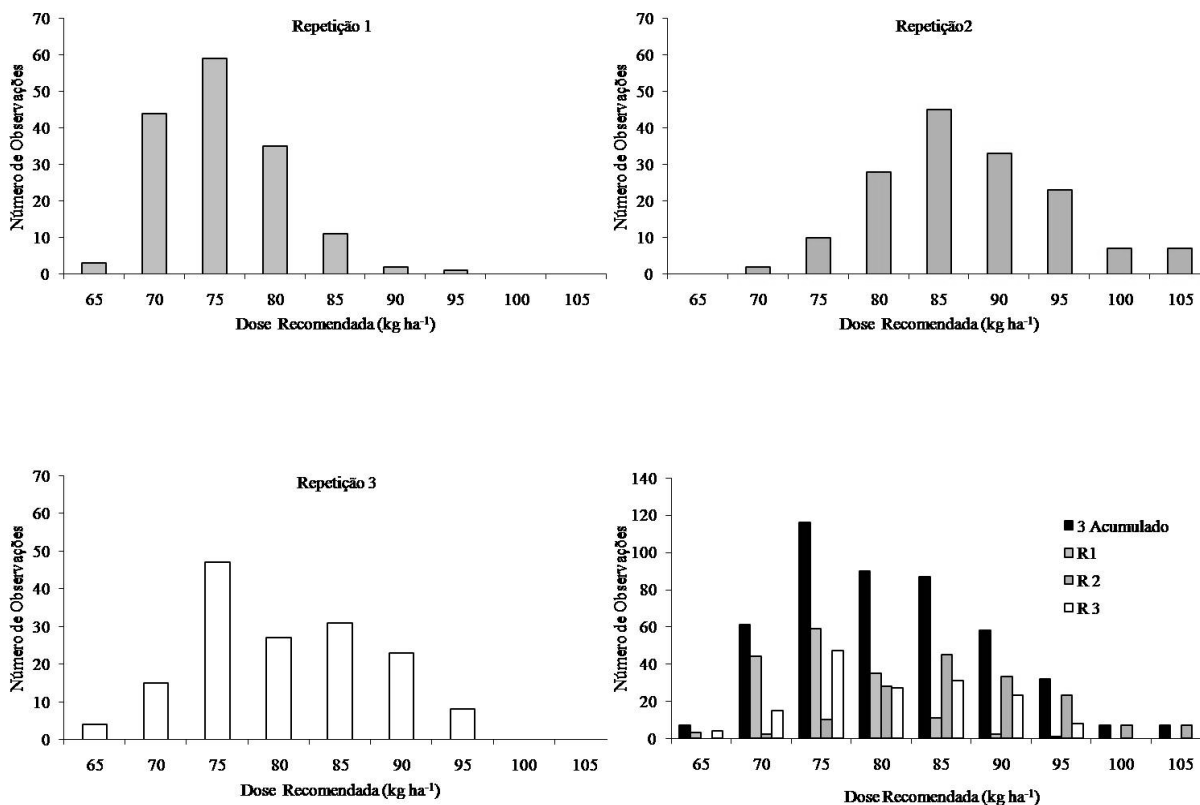
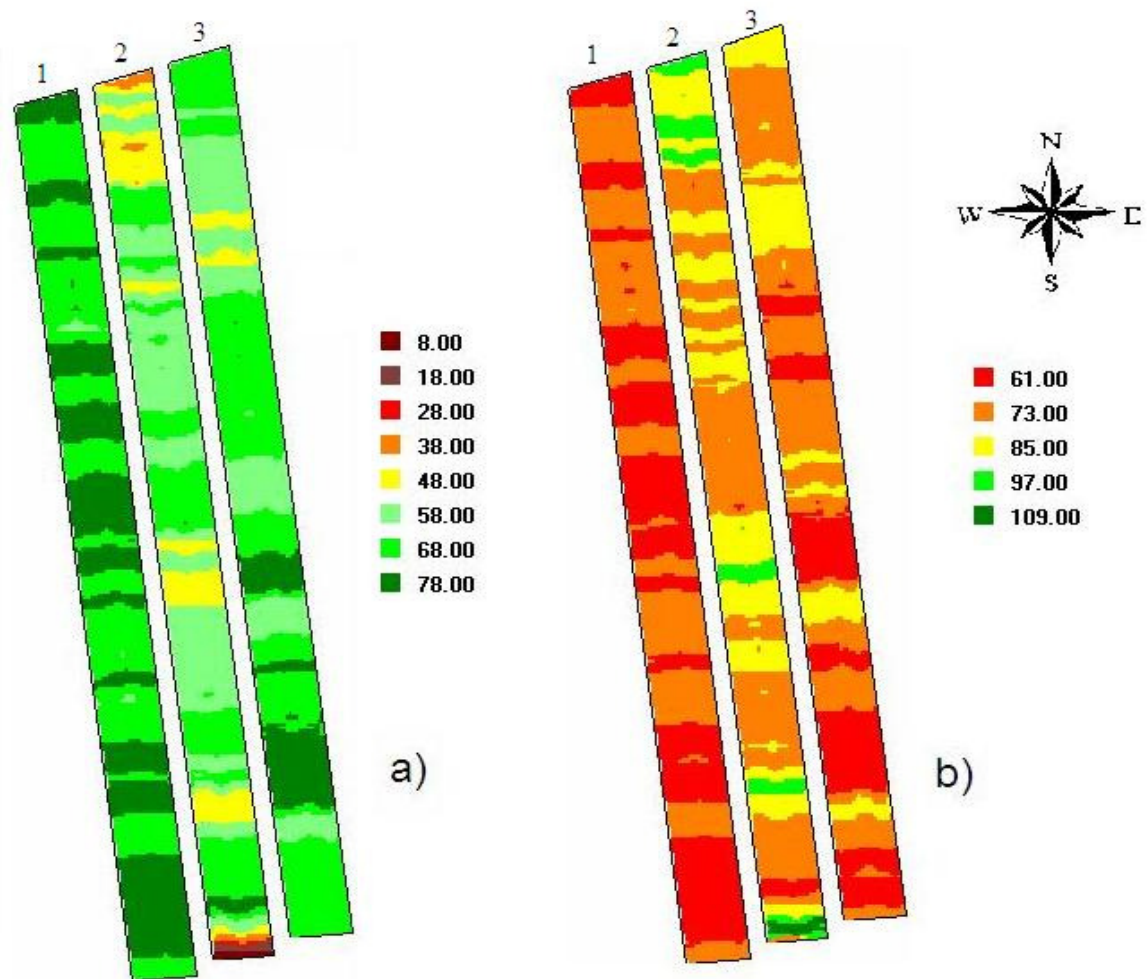


Figura 8 – Frequência das doses recomendadas pelo N-Sensor para milho no experimento localizado em Cruz Alta, RS. 2009.

Dessa forma, observou-se diferença entre as médias das adubações aplicadas para cada repetição do Tratamento, onde as Repetições 1 e 3 permaneceram abaixo da média indicada, enquanto que a Repetição 2 ficou 8 % acima da média atribuída para a aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N. Para a média das aplicações em cobertura do Tratamento obteve-se 79,4 kg ha⁻¹ de N, o que representa uma diferença de apenas 0,75% do planejado. Assim, segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), o CV foi classificado como baixo para os dados de recomendação de dose a ser aplicada, assim como para as leituras de IVB, com exceção da Repetição 1 que apresentou CV de 13%, sendo classificado como médio.

A dependência da estrutura espacial dos dados observados foi classificada como Forte nas Repetições 2 e 3 e moderada na Repetição 1 para o IVB assim como para a dose recomendada, segundo classificação proposta por Cambardella (1994) e modificada por Silva et al. (2003). Dessa forma, os resultados encontrados foram transformados em mapas de IVB e dose recomendada (Figura 9), com auxílio do Software Campeiro 6 (GIOTTO e ROBAINA,

2007), facilitando a visualização dos resultados e da variação encontrada no Tratamento com aplicação à taxa variada de N.



Repetições 1, 2 e 3 do Tratamento 140TV.

Figura 9 - Mapa de IVB (a) e dose recomendada de N (kg ha⁻¹) (b) pelo N-Sensor para a cultura do milho com aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado. Cruz Alta, RS. 2009.

3.2 Correlação dos dados de Índice de vigor de biomassa e dose recomendada pelo N-Sensor com parâmetros de plantas de milho

Em Cruz Alta, comparando-se os resultados de dose recomendada para aplicação com IVB (Tabela 6), obteve-se coeficiente de correlação igual a 0,99, sendo possível inferir que o equipamento N-Sensor teve um ótimo desempenho operacional. Porém, para o experimento conduzido em Tio Hugo, o coeficiente de correlação de 0,38 entre o IVB e as doses recomendadas comportou-se de maneira não significativa, permitindo inferir a existência de problemas operacionais, sendo atribuída a falhas de comunicação entre o N-Sensor e o distribuidor de fertilizantes à taxa variada encontradas durante a execução da operação.

No experimento localizado em Tio Hugo, não foram obtidas correlações significativas do IVB no estágio de oito folhas com nenhum dos parâmetros de planta avaliados. Já para o experimento conduzido em Cruz Alta, obteve-se correlação da dose recomendada pelo N-Sensor com a MS, com $r=0,56$ ($p<0,01$), e quantidade de N na MS, com $r=0,58$ ($p<0,01$).

Da mesma forma, no estágio de florescimento, no experimento conduzido em Cruz Alta, constatou-se correlação significativa entre parâmetros de planta e IVB e dose recomendada pelo N-Sensor, destacando-se a quantidade de N presente na massa seca de plantas de milho por unidade de área com $r=0,57$ ($p<0,01$) e o clorofilômetro manual SPAD com $r=0,47$ ($p<0,01$). A produtividade não apresentou correlação significativa com IVB e dose recomendada pelo N-Sensor.

Tabela 6 - Correlações entre os diferentes parâmetros avaliados nos estádios de desenvolvimento de oito folhas e florescimento de milho, nos tratamentos que utilizaram aplicação à taxa variada de N, segundo recomendação do N-Sensor, para Tio Hugo e Cruz Alta, RS, 2009.

Tio Hugo - Tratamento 150TV															
Estádio de desenvolvimento - 8 Folhas							Estádio de desenvolvimento – Florescimento								
	MS	SPAD	% N	N MS	PROD	IVB	DR		MS	SPAD	% N	N MS	PROD	IVB	DR
MS	1							MS	1						
SPAD	0,69*	1						SPAD	0,33 ^{ns}	1					
% N	0,10 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1					% N	0,64 ^{ns}	0,76*	1				
N MS	0,91**	0,63 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1				N MS	0,95**	0,52 ^{ns}	0,84**	1			
PROD	0,48 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,52 ^{ns}	1			PROD	0,24 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1		
IVB	0,23 ^{ns}	0,45 ^{ns}	-0,48 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1		IVB	-0,54 ^{ns}	-0,55 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-0,49 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1	
DR	-0,09 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1	DR	0,08 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1

Cruz Alta - Tratamento 140TV															
Estádio de desenvolvimento – 8 Folhas							Estádio de desenvolvimento – Florescimento								
	MS	SPAD	% N	N MS	PROD	IVB	DR		MS	SPAD	% N	N MS	PROD	IVB	DR
MS	1							MS	1						
SPAD	0,38*	1						SPAD	0,39*	1					
% N	-0,01 ^{ns}	0,13 ^{ns}	1					% N	0,26 ^{ns}	0,62**	1				
N MS	0,92**	0,38*	0,37*	1				N MS	0,27 ^{ns}	0,43**	0,69**	1			
PROD	0,01 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-0,34*	-0,15 ^{ns}	1			PROD	-0,06 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1		
IVB	0,56**	0,11 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,58**	-0,06 ^{ns}	1		IVB	-0,35*	-0,47**	-0,54**	-0,57**	-0,06 ^{ns}	1	
DR	-0,56**	-0,11 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,58**	-0,06 ^{ns}	-0,99**	1	DR	0,35*	0,47**	0,54**	0,57**	0,06 ^{ns}	0,99**	1

MS = Massa seca; SPAD = Leitura de SPAD; % N = Teor relativo de N na massa seca; N MS = Teor total de N na massa seca ha⁻¹; PROD = Produtividade de Grãos; IVB = Índice de vigor de biomassa; DR = Dose recomendada pelo N-Sensor; ^{ns} = não significativo; * = Significativo a 5% de probabilidade; ** = Significativo a 1% de probabilidade.

Correlacionando-se as produtividades médias determinadas através da colheita manual com os demais parâmetros médios de planta, no experimento conduzido em Tio Hugo em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do milho, destaca-se o clorofilômetro manual SPAD, com alta correlação a partir do estágio de 8 folhas expandidas apresentando significância com a produtividade média com coeficiente de correlação de 93% (Tabela 7). Já no estágio de doze folhas, e florescimento obteve-se um coeficiente de correlação de 99% e 93% entre as médias das leituras do clorofilômetro com as produtividades, reafirmando assim a eficiência do clorofilômetro manual como parâmetro de referência para avaliar o desenvolvimento de milho (VARVEL et al., 1997; ARGENTA et al., 2003).

No experimento localizado em Tio Hugo, observou-se a evolução da MS ao longo do tempo (Tabela 7), em que os estádios iniciais de desenvolvimento (quatro e oito folhas) não apresentam diferença significativa entre os tratamentos. Porém, após a diferenciação das doses de N aplicadas, as plantas responderam com um aumento de MS que pode ser percebido nos estádios de florescimento e grão leitoso. Esse resultado vem de encontro aos verificados por Andrade et al. (1975) e Carvalho et al. (2007).

Os resultados de MS obtidos (Tabela 7) demonstram um coeficiente de correlação com a produtividade de apenas 38% no estágio de oito folhas e, no estágio de 12 folhas, os valores de MS apresentaram um coeficiente de correlação de 84% com a produtividade média. Já, no estágio de florescimento, obteve-se um coeficiente de correlação de 93% e, no estágio de grão leitoso esse coeficiente foi 97% entre as médias de MS e produtividade, conforme o esperado. Este resultado também foi encontrado em Cruz Alta no estágio de florescimento, com coeficiente de correlação de 0,99 com a produtividade, resultados esses que corroboram com os obtidos por Povh (2007), que observou uma maior correlação nos estádios de desenvolvimento mais avançados na cultura do milho.

Dessa forma, em Tio Hugo, no estágio de quatro folhas, nenhum parâmetro de planta avaliado se correlacionou com o rendimento, indicando que nessa fase os parâmetros de planta não seriam eficientes para determinar a dose a ser aplicada. No estágio de oito folhas, o SPAD se mostrou correlacionado com a produtividade mostrando que pode ser o indicador mais precoce e, a partir de 12 folhas, todos os parâmetros foram significativos com o rendimento. Em Cruz Alta a correlação foi menor com os parâmetros de planta provavelmente em função do clima desfavorável. Nesse caso, o SPAD não foi eficiente em correlacionar-se com a produtividade nos estádios de desenvolvimento estudados.

Tabela 7 - Correlações entre os diferentes parâmetros avaliados em diferentes estádios de desenvolvimento do milho para as médias dos tratamentos testados, em Tio Hugo e Cruz Alta, RS, 2009.

Experimento de Tio Hugo											
Estádio de desenvolvimento – (4 Folhas)					Estádio de desenvolvimento – (8 Folhas)						
	MS	SPAD	% N	N MS	PROD		MS	SPAD	% N	N MS	PROD
MS	1					MS	1				
SPAD	0,78 ^{ns}	1				SPAD	0,49 ^{ns}	1			
% N	-0,57 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	1			% N	0,06 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1		
N MS	0,63 ^{ns}	0,85*	0,27 ^{ns}	1		N MS	0,83*	0,72 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1	
PROD	-0,17 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,32 ^{ns}	1	PROD	0,38 ^{ns}	0,93**	0,61 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1
Estádio de desenvolvimento – (12 Folhas)					Estádio de desenvolvimento – (Florescimento)						
	MS	SPAD	% N	N MS	PROD		MS	SPAD	% N	N MS	PROD
MS	1					MS	1				
SPAD	0,80 ^{ns}	1				SPAD	0,88*	1			
% N	0,89*	0,94**	1			% N	0,83*	0,94**	1		
N MS	0,94**	0,89*	0,98**	1		N MS	0,98**	0,91*	0,90*	1	
PROD	0,84*	0,99**	0,94**	0,91*	1	PROD	0,93**	0,93**	0,82*	0,88*	1
Estádio de desenvolvimento – (Grão Leitoso)											
	MS	SPAD	% N	N MS	PROD		MS	SPAD	% N	N MS	PROD
MS	1										
SPAD	0,94**	1									
% N	0,77 ^{ns}	0,92**	1								
N MS	0,89*	0,98**	0,97**	1							
PROD	0,97**	0,98**	0,84*	0,94**	1						
Experimento de Cruz Alta											
Estádio de desenvolvimento – (8 FOLHAS)					Estádio de desenvolvimento – (Florescimento)						
	MS	SPAD	% N	N MS	PROD		MS	SPAD	% N	N MS	PROD
MS	1					MS	1				
SPAD	-0,04 ^{ns}	1				SPAD	0,67 ^{ns}	1			
% N	0,31 ^{ns}	0,6 ^{ns}	1			% N	0,61 ^{ns}	0,99**	1		
N MS	0,45 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,98*	1		N MS	0,54 ^{ns}	0,98*	0,99**	1	
PROD	-0,18 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,37 ^{ns}	1	PROD	0,99**	0,67 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1

MS = Massa seca; SPAD = Leitura de SPAD; % N = Teor relativo de N na massa seca; N MS = Teor total de N na massa seca ha⁻¹; PROD = Produtividade de Grãos; ^{ns} = não significativo; * = Significativo a 5% de probabilidade; ** = Significativo a 1% de probabilidade.

3.3 Influência de doses de N em taxa fixa e taxa variada nos parâmetros de planta em diferentes estádios de desenvolvimento do milho

Avaliando-se os parâmetros de planta ao longo do desenvolvimento da cultura é possível determinar qual o momento mais adequado para realizar a intervenção da fertilização nitrogenada com uso de espectrometria ótica. Assim, os tratamentos estudados não diferiram entre si no estágio de desenvolvimento inicial da cultura do milho, em que as plantas se encontravam com quatro folhas completamente expandidas, no experimento localizado em Tio Hugo (dados não apresentados). Dessa forma, a partir do estágio de oito folhas totalmente expandidas constatou-se diferença entre os tratamentos estudados para SPAD em Tio Hugo e a partir do estágio de 12 folhas em Cruz Alta (Tabela 8).

Verificou-se também a evolução ao longo do tempo dos resultados de leituras do clorofilômetro nos quais houve aumento gradual dos resultados observados até o estágio de florescimento e redução para o estágio de grão leitoso em Tio Hugo (Tabela 8). Resultados semelhantes também foram verificados por Argenta et al. (2001). Esses autores reportaram que, para os estádios de três a quatro folhas e seis a sete folhas, os valores das leituras estejam entre 45,4 e 52,1, respectivamente. Para o experimento localizado em Tio Hugo, as leituras SPAD para o tratamento testemunha, 27TF, no estágio de oito folhas, foram iguais a 38,6, encontrando-se abaixo do recomendado. Já Piekielek e Fox (1992) e Jemison e Lytle (1996), obtiveram os níveis de 43,4 e 42,0 para o estágio de seis a sete folhas, sendo dependente da cultivar e estágio nutricional da planta. Essa diferença também pode ser explicada pela fase fenológica de desenvolvimento e quantidade de nutriente disponibilizada em adubações anteriores.

Levando esse fato em consideração, os resultados encontrados no experimento de Cruz Alta indicam desenvolvimento normal para as plantas de milho para os tratamentos avaliados. Assim, nos estádios de 12 folhas e florescimento, apenas o tratamento Testemunha apresentava valores abaixo do teor ideal conforme recomendado por Argenta et al. (2003), com leituras SPAD de 39,7 a 41,3, respectivamente. O melhor tratamento, para este parâmetro avaliado, foi o de máxima dosagem, porém este não diferiu do tratamento com aplicação à taxa variada para o estágio de florescimento, em ambos os locais, e dos tratamentos que utilizaram a dose 140 kg ha^{-1} , em Cruz Alta.

Tabela 8 - Estatística descritiva dos parâmetros avaliados nos diferentes estádios de desenvolvimento do milho para as médias dos tratamentos nos experimentos de Tio Hugo e Cruz Alta, RS, 2009.

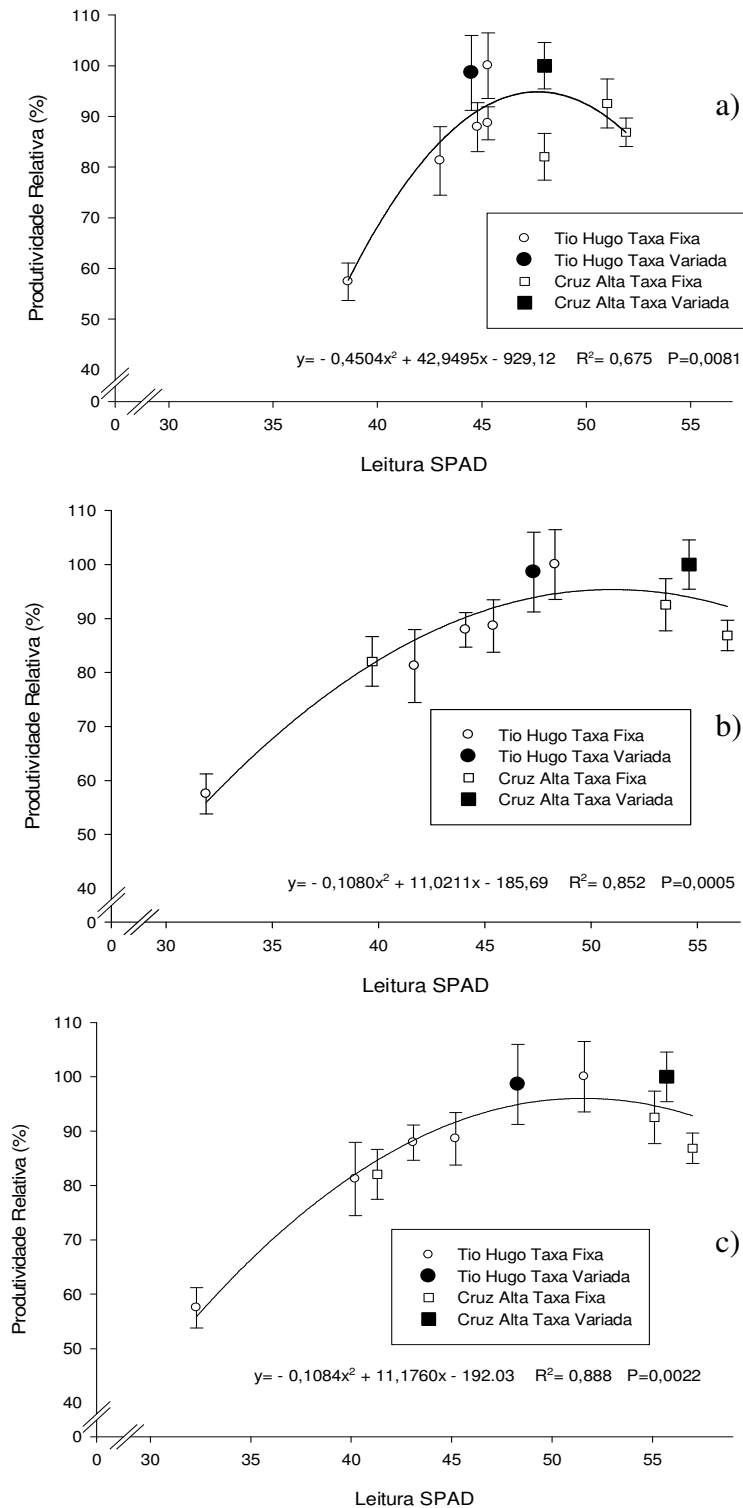
	Estádio de desenvolvimento															P. M. (Kg ha ⁻¹)	
	8 folhas				12 folhas				Florescimento				Grão Leitoso				
	MS	SPAD	NMS		MS	SPAD	NMS		MS	SPAD	NMS		MS	SPAD	NMS		
	(Kg ha ⁻¹)	%	(Kg ha ⁻¹)		(Kg ha ⁻¹)	%	(Kg ha ⁻¹)		(Kg ha ⁻¹)	%	(Kg ha ⁻¹)		(Kg ha ⁻¹)	%	(Kg ha ⁻¹)		
Tio Hugo																	
27TF	658 ^{ns}	38,6 ^c	2,3 ^{ns}	15,5 ^{ns}	3699 ^{ns}	31,9 ^c	0,6 ^c	23,1 ^d	6113 ^c	38,0 ^c	0,9 ^c	53,2 ^c	7981 ^b	32,3 ^c	0,69 ^d	55,20 ^d	5403 ^c
80TF	748	43,0 ^b	2,4	18,4	3776	41,7 ^b	0,8 ^c	29,6 ^{cd}	9350 ^{ab}	41,1 ^c	0,9 ^c	96,3 ^b	12251 ^a	40,2 ^d	0,79 ^{cd}	97,10 ^c	7639 ^{cd}
120TF	676	44,8 ^{ab}	2,6	17,7	4016	45,4 ^{ab}	1,0 ^b	39,6 ^{bc}	9390 ^{ab}	45,9 ^b	1,2 ^b	108,8 ^b	13572 ^a	45,2 ^{bc}	0,93 ^b	126,5 ^{bc}	8336 ^{bc}
140TF	728	45,3 ^a	2,4	17,7	4412	44,1 ^{ab}	1,0 ^b	44,1 ^{ab}	8816 ^{bc}	47,2 ^b	1,1 ^b	98,8 ^b	13614 ^a	43,1 ^{cd}	0,89 ^{bc}	121,1 ^{bc}	8265 ^{bc}
150TV	683	44,5 ^{ab}	2,4	16,6	4454	47,3 ^a	1,0 ^b	45,4 ^{ab}	10288 ^{ab}	49,1 ^{ab}	1,2 ^b	122,9 ^b	13886 ^a	48,3 ^{ab}	1,01 ^b	141,6 ^b	9273 ^{ab}
160TF	721	45,3 ^a	2,5	17,9	4510	48,3 ^a	1,2 ^a	55,2 ^a	12221 ^a	52,2 ^a	1,4 ^a	175,6 ^a	14500 ^a	51,6 ^a	1,29 ^a	185,5 ^a	9403 ^a
V. Mi.	658	38,6	1,9	11,6	3699	31,9	0,56	13,7	6113	38,0	0,81	40,5	7981	32,3	0,61	35,4	5403
V. Ma.	748	45,3	3,0	25,8	4510	48,4	1,34	70,5	12221	52,2	1,67	197,8	14500	51,6	1,45	196,0	9403
Média	702	43,6	2,4	17,3	4145	43,1	0,94	39,6	9363	45,6	1,12	109,2	12634	43,5	0,93	120,5	8053
Variância	1013,6	5,5	0,05	13,9	108483	29,8	0,04	205,4	3314852	22,8	0,04	1976,5	4781573	37,9	0,04	1997,0	1771091
DP (%)	31,8	2,3	0,2	3,7	329,3	5,4	0,2	14,3	1820,6	4,7	0,2	44,4	2186,6	6,16	0,2	44,6	1330,8
CV	0,05	0,05	0,10	0,21	0,08	0,13	0,24	0,36	0,19	0,10	0,19	0,40	0,17	0,14	0,22	0,37	0,17
Cruz Alta																	
T	1297 ^{ns}	48,9 ^{ns}	1,6 ^c	20,9 ^b		39,7 ^c			5188 ^c	41,3 ^c	0,6 ^c	31,1 ^c					7031 ^c
140TF	1260	51,0	2,0 ^b	25,0 ^{ab}		53,5 ^b			5688 ^{bc}	55,1 ^b	1,1 ^b	62,5 ^b					7932 ^{ab}
140TV	1303	48,0	2,0 ^b	26,6 ^{ab}		54,6 ^b			6085 ^{ab}	55,7 ^{ab}	1,1 ^{ab}	66,9 ^b					8571 ^a
240TF	1320	51,9	2,3 ^a	29,9 ^a		56,4 ^a			6268 ^a	57,0 ^a	1,2 ^a	75,21 ^a					7445 ^{bc}
V. Mi.	557	55,3	1,45	10,7		32,6			4000	34,8	0,37	21,3					7031
V. Ma.	2400	58	2,76	51,8		59,2			7986	60,5	1,38	99,2					8571
Média	1292,2	49,8	1,98	25,7		51,7			5823	52,9	0,97	57,3					7846
Variância	150063	6,6	0,08	80,7		41,1			77042	38,8	0,06	342,1					1960021
DP (%)	387,3	2,5	0,2	8,9		6,4			877,5	6,2	0,2	18,4					1400,0
CV	0,29	0,05	0,15	0,35		0,12			0,15	0,12	0,26	0,32					0,18

MS = Massa seca; SPAD = Leitura de SPAD; % N = Teor relativo de N na massa seca; N MS = Teor total de N na massa seca ha⁻¹; P. M. = Produtividade média de grãos; V. Mi. = Valor mínimo; V. Ma. = Valor máximo; DP = Desvio padrão; CV = Coeficiente de variação; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ^{ns} = não significativo.

Segundo Argenta et al. (2003), ainda não existe uma calibração específica para o SPAD para cada cultivar e situação de produção que sirva como referência na intervenção para o produtor. Assim, através dos rendimentos relativos encontrados para a cultivar Pioneer 30F53, em Tio Hugo e Cruz Alta, foram determinados os teores críticos para os estádios de desenvolvimento de oito folhas e florescimento (Figura 10), sendo que em oito folhas ainda é possível intervir com adubação nitrogenada para elevar os níveis de produtividade, através da leitura de SPAD, e utilizar o florescimento como parâmetro de previsão de rendimento.

A determinação dos teores críticos seguiu o mesmo critério utilizado pela CQFS, RS/SC (2004), estabelecendo como teor crítico inferior 90% da produtividade relativa. No estádio de desenvolvimento de oito folhas totalmente expandidas, o valor crítico determinado foi de 44,5 valores SPAD, com máxima produtividade relativa quando a leitura SPAD foi 47,7, estando de acordo com Argenta et al. (2001). Já no estádio de 12 folhas e florescimento, os valores críticos foram 44,0 e 44,1, respectivamente, estando abaixo do adequado segundo Argenta et al. (2003).

Os resultados de MS mostram uma pequena variação entre os tratamentos, em Tio Hugo, nos estádios iniciais de 4, 8 e 12 folhas, com o coeficiente de variação entre as médias de pesagem de 0,07, 0,05 e 0,08, respectivamente, não sendo significativos (Tabela 8). Porém, após a diferenciação das doses de N aplicadas, as plantas responderam com um aumento de MS, o que pode ser observado nos estádios de florescimento e grão leitoso. Isso também foi verificado por Carvalho et al. (2007), elevando o coeficiente de variação para 19% durante o florescimento e 17% para grão leitoso, notadamente pelo efeito da adubação nitrogenada. Resultados semelhantes foram observados no experimento conduzido em Cruz Alta, onde no estádio de desenvolvimento de oito folhas, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, enquanto que no florescimento os tratamentos com maior dosagem de N obtiveram maiores quantidades de MS.



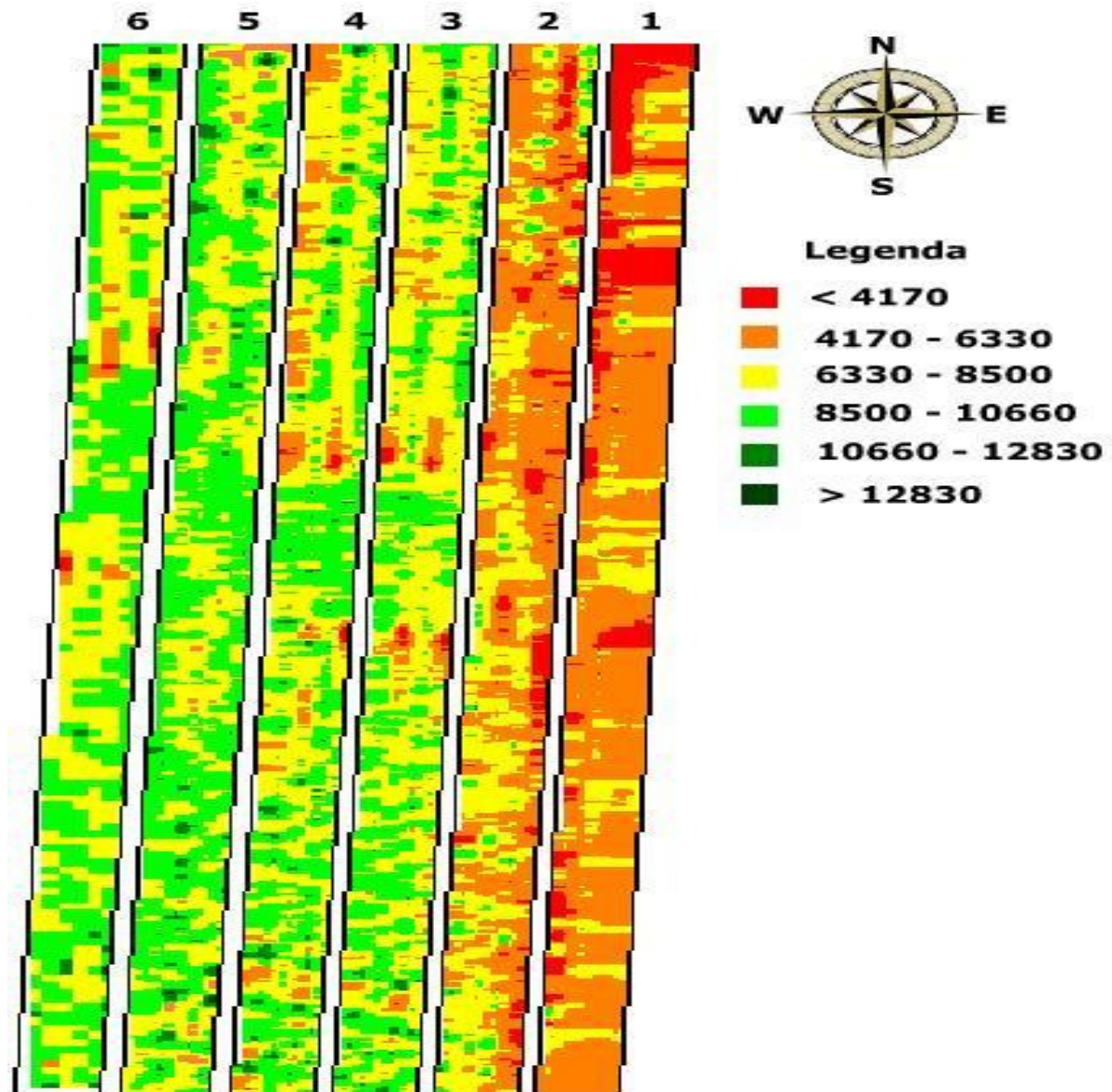
a) Estádio de 8 folhas; b) Estádio de 12 folhas; c) Estádio de Florescimento.

Figura 10 - Produtividade relativa de milho em função das determinações de clorofilômetro manual SPAD para os experimentos de Tio Hugo e Cruz Alta. Santa Maria, RS, 2010.

Em ambos os locais foram obtidas médias de produtividade satisfatórias (Tabela 8) ficando acima dos 3215 kg ha⁻¹ de produtividade média do RS nesta safra (EMATER/RS-Ascar, 2009), sendo que, para Tio Hugo, obtiveram-se resultados médios para os tratamentos avaliados, que variaram de 5403 kg ha⁻¹ a 9402 kg ha⁻¹ (Tabela 8). Isso pode ser devido às diferentes doses de N e a variabilidade horizontal encontrada na área experimento, enquanto que a produtividade média de milho, da área comercial onde foi conduzido o experimento, foi de 7080 kg ha⁻¹. Desta forma, a maior produtividade média foi obtida em 160TF, seguido do tratamento 150TV, não diferindo estatisticamente entre si. Nos tratamentos de doses inferiores a produtividade foi menor, estando de acordo com resultados de Lange et al. (2006).

Quando a produtividade do tratamento com distribuição à taxa variada determinada pelo N-Sensor foi comparada com o tratamento 120TF, que é a dose média tradicionalmente utilizada pelos produtores da região onde se desenvolveu o estudo, determinou-se um incremento na produtividade média de 930 kg ha⁻¹. Conforme Amado et al. (2002), foram encontradas baixas produtividades nos tratamentos onde foram fornecidas baixas dosagens de N, sendo que o tratamento Testemunha (27TF) obteve 57% da produtividade no tratamento de 160TF e 94% da produtividade do tratamento 160TF quando tratamento 150TV.

A diferença de produtividade entre os tratamentos encontrada no experimento localizado em Tio Hugo fica visível na Figura 11, através dos dados obtidos através da colheita mecânica. As parcelas foram alocadas dessa forma para facilitar a visualização, não obedecendo ao formato original, porém mantidas em escala.



*Parcelas 1,2,3,4,5 e 6 representam, respectivamente, os tratamentos 27TF, 80TF, 120TF, 140TF, 150TV e 160TF. Tio Hugo, RS. 2009.

Figura 11 - Produtividade de milho com diferentes doses de nitrogênio aplicadas a taxa fixa e variada.

Em Cruz Alta, o tratamento que não recebeu adubação nitrogenada teve a menor produtividade (7031 kg ha^{-1}) (Tabela 8). Embora a produtividade tenha sido relativamente elevada quando comparada ao tratamento Testemunha de Tio Hugo (5403 kg ha^{-1}), esse efeito pode ser atribuído a quantidade de MOS, a cultura anterior e a relação das condições climáticas com o genótipo (CASSMAN et al., 2002; CANTARELLA e DUARTE, 2004).

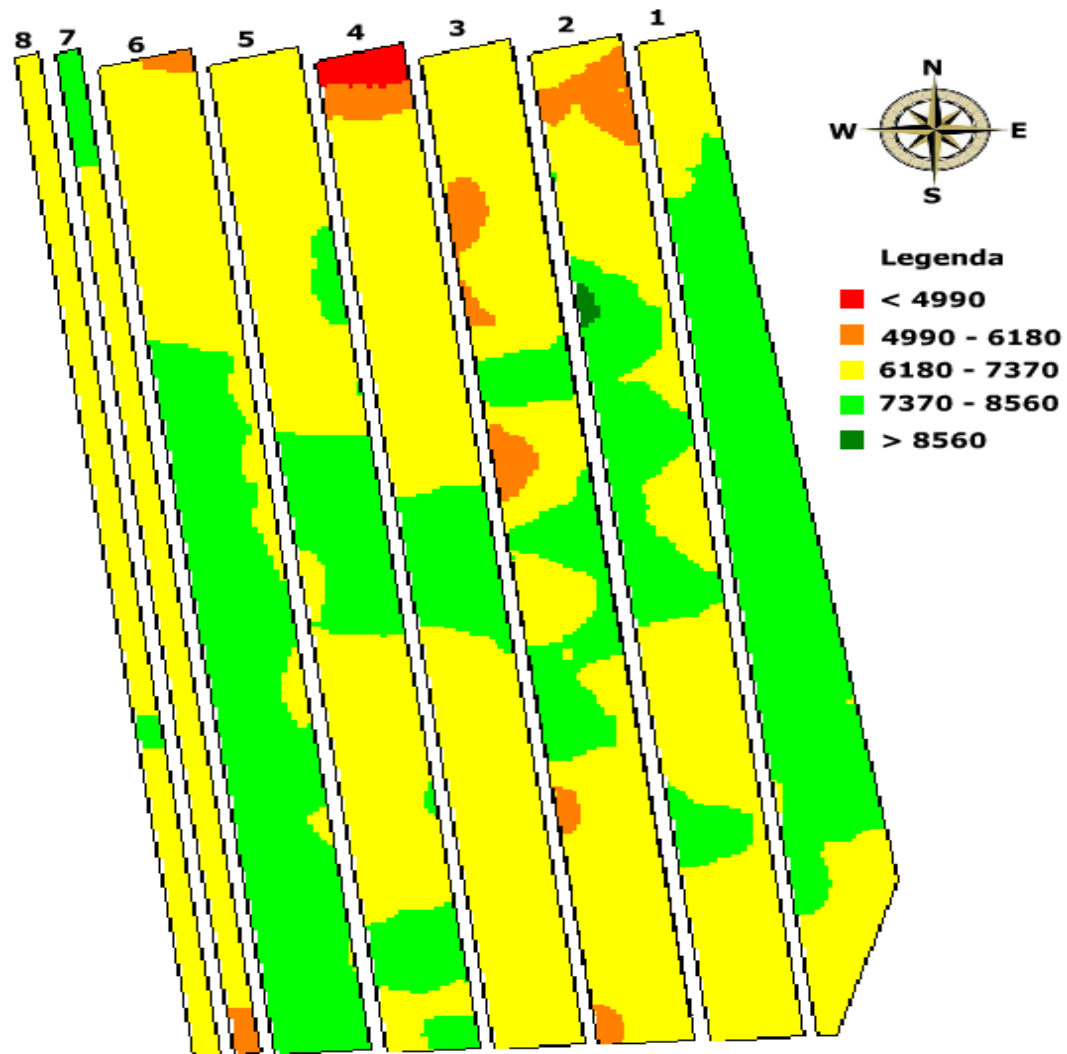
Em contrapartida, o tratamento com a maior dose aplicada apresentou uma produtividade de 7445 kg ha^{-1} , ficando abaixo do esperado uma vez que, os tratamentos com

doses de 140 kg ha⁻¹ de N, obtiveram produtividades entre 8571 kg ha⁻¹ e 7932 kg ha⁻¹, respectivamente, para aplicação à taxa variada e taxa uniforme, ficando evidente o fator restritivo da falta de água para a produção de grãos (relação dos eventos de precipitação pode ser visto no Anexo B). Assim uma planta que possui maior quantidade de MS perde mais água em relação à outra com menor massa seca (BERGAMASCHI et al., 1999), necessitando maior disponibilidade de água para não restringir a produtividade.

O subperíodo de maior exigência fisiológica de água está compreendido entre a antese e a maturação leitosa, no qual o Índice de Área Foliar (IAF) se mantém próximo do máximo. Nesse subperíodo, MATZENAUER et al. (1995) observaram valores de evapotranspiração média (ETm) de 6,6 mm dia⁻¹ e, no ciclo, 4,6 mm dia⁻¹, totalizando 572 mm. Caseiro et al. (1997) encontraram valores de ETm médio e máximo diários e acumulados, no ciclo do milho, de respectivamente 5,17, 7,17 e 668 mm. Radin et al. (2000) verificaram valores extremos de até 11,0mm dia⁻¹ após a antese da cultura, enquanto Kang et al. (2003) obtiveram valores médios diários em torno de 5,3 mm dia⁻¹ aos 75 dias após a semeadura.

Dessa forma, para o experimento em Tio Hugo houve, durante o desenvolvimento da cultura, 1177 mm acumulados e a estimativa da disponibilidade de água foi próxima a 4,7 mm dia⁻¹ após a antese (relação dos eventos de precipitação pode ser visto no Anexo A), enquanto que para Cruz Alta, durante o desenvolvimento da cultura, houve 311 mm acumulados, e 0,3 mm dia⁻¹ após a antese, ficando bem abaixo do que os autores citam, evidenciando seu efeito sobre a produtividade.

A diferença de produtividade entre os tratamentos do experimento localizado em Cruz Alta fica visível na Figura 12, através dos dados obtidos através da colheita mecânica. As parcelas foram alocadas dessa forma para facilitar a visualização, não obedecendo ao formato original, porém mantidas em escala.



* Parcelas 1, 3 e 5 representam o tratamento 140TF, parcelas 2, 4 e 6 representam o tratamento 140TV, parcela 7 e 8 representam os tratamento 240TF e T, respectivamente.

Figura 12 - Produtividade de milho com diferentes doses de nitrogênio aplicadas a taxa fixa e variada. Cruz Alta, RS. 2009.

Com a utilização de taxa variada, observou-se no experimento de Cruz Alta, aumento de produtividade da ordem de 8,05% em média, quando comparado com taxa fixa com produtividade de 7932 kg ha⁻¹, porém, não apresentando diferença significativa entre os tratamentos. Quando comparada a Testemunha, esse aumento foi de 21,9%, demonstrando a eficiência em adubar-se o milho, confirmando resultados encontrados por Duete et al. (2008).

Segundo Bianchini et al. (2008), a eficiência do uso da adubação nitrogenada (EUN) pode ser detectada através da produtividade resposta da cultura para a quantidade de N aplicada via adubação adicional. Em Tio Hugo (Tabela 19) o tratamento que utilizou aplicação à taxa variada obteve 31% de EUN, os demais tratamentos variaram entre 25% para 140TF e 42% para 82TF, enquanto que em Cruz Alta os resultados variaram de 1,72% para o

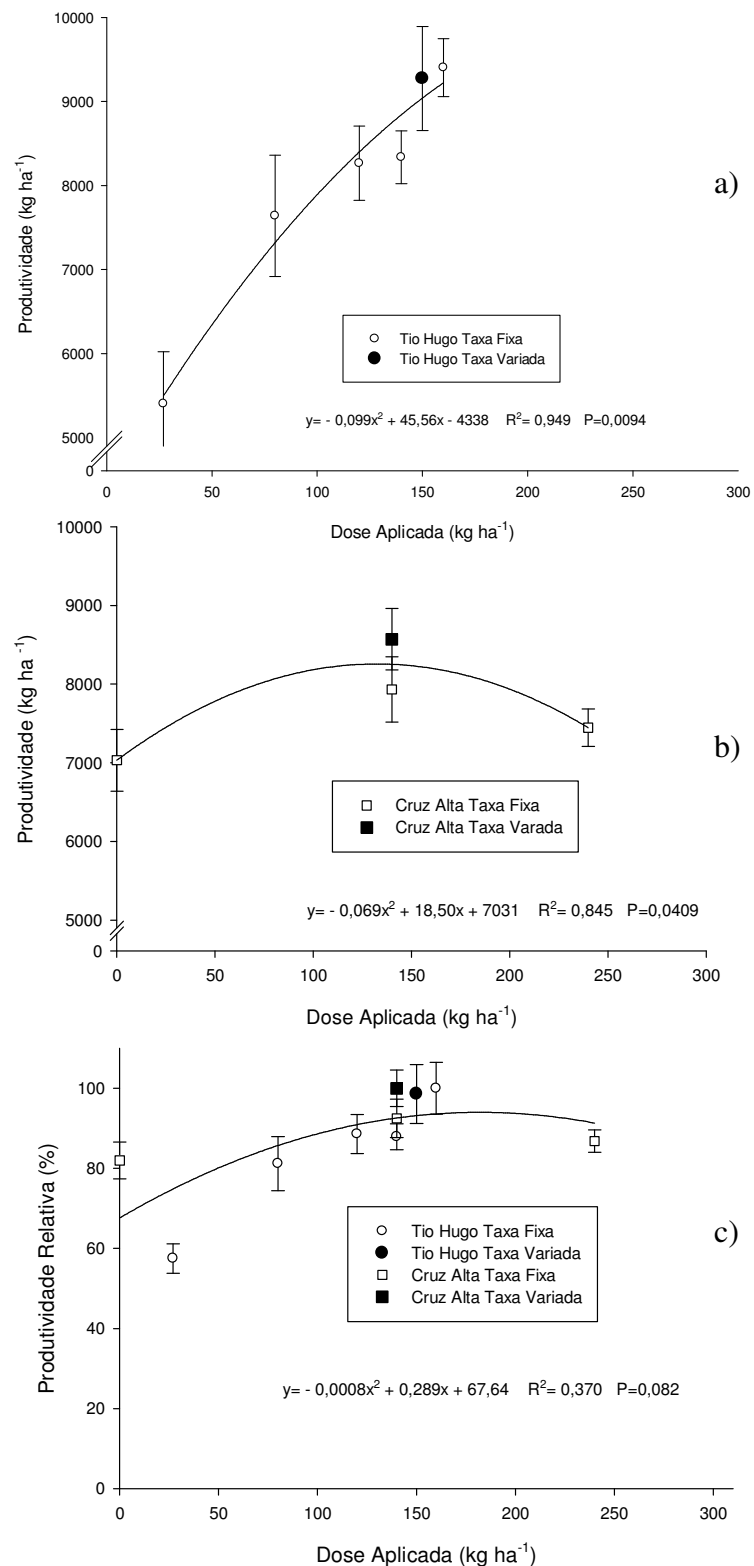
tratamento 240TV e 11% para TF. Segundo Melchiori et al. (2005), utilizando uma dose padrão de 140 kg ha^{-1} , obtiveram uma EUN que variou de 18% a 26%, em um experimento que avaliava parcelamento da dose aplicada. Assim, em Tio Hugo obteve-se eficiência do uso de N superiores aos resultados de Cruz Alta, evidenciando-se que neste último local, as condições climáticas possivelmente tenham afetado o uso eficiente de N.

Tabela 9 - Resposta do milho a doses de fertilizante nitrogenado e eficiência do uso de nitrogênio em Tio Hugo e Cruz Alta, RS, 2009.

Tratamento	Produtividade	Incremento na Produtividade	N aplicado	EUN*
	(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})	(%)
Tio Hugo				
27TF	5403	-	-	-
80TF	7639	2236	53	42
120TF	8336	2933	93	31
140TF	8265	2862	113	25
150TV	9273	3870	123	31
160TF	9403	4000	133	30
Cruz Alta				
T	7031	-	-	-
140 TF	7932	901	140	6,4
140 TV	8571	1540	140	11,0
240 TF	7445	414	240	1,7

*EUN = Eficiência do Uso de N; EUN = kg ha^{-1} de grão produzido/ kg ha^{-1} de N aplicado.

Já a resposta da adubação demonstra, para o experimento conduzido em Tio Hugo, que a estimativa da maior produtividade na equação ajustada foi atingida com 230 kg ha^{-1} de N (Figura 13), enquanto que para Cruz Alta a dose com maior produtividade estimada foi atingida com 134 kg ha^{-1} de N na equação ajustada. Essa diferença pode ser atribuída às diferentes condições de cultivo em que se desenvolveu a cultura do milho e a possível interferência do clima na produtividade de Cruz Alta.



(a) Experimento localizado em Tio Hugo. (b) Experimento localizado em Cruz Alta. (c) Equação ajustada para os experimentos localizados em Tio Hugo e Cruz Alta para a cultura do milho.

Figura 13 - Produtividade de milho em função das doses de N aplicadas para os experimentos de Tio Hugo e Cruz Alta. Santa Maria, RS, 2010.

Ao ajustar-se a equação de produtividade para o experimento localizado em Tio Hugo nos tratamentos aplicados a taxa fixa, a estimativa da produtividade para a dose 150 kg ha^{-1} de N, a taxa fixa, foi de 8994 kg ha^{-1} , enquanto que a observada com aplicação à taxa variada, para a mesma dose, foi de 9273 kg ha^{-1} . Logo, o incremento de produtividade com aplicação à taxa variada foi de 3,1%.

Nesse sentido, observando-se a produtividade relativa é possível estimar que a dose ideal de N a ser aplicada, fique próximo a de 160 kg ha^{-1} de N, como visto na Figura 12, sendo ligeiramente superior a indicada pela CQFS, RS/SC, (2004) que era de 140 kg ha^{-1} .

4 CONCLUSÕES

- No estágio de quatro folhas, nenhum dos parâmetros de planta investigado apresentou correlação com a produtividade.
- A partir do estágio de 12 folhas todos os parâmetros de planta apresentam correlação com a produtividade em Tio Hugo onde não houve severa limitação climática de precipitação. Já em Cruz Alta, sob condições de limitada precipitação, apenas massa seca obteve correlação com a produtividade, no estágio de florescimento.
- A clorofila medida pelo SPAD é um indicador precoce para recomendação de adubação nitrogenada em milho para o experimento localizado em Tio Hugo.
- No estágio de desenvolvimento de oito folhas totalmente expandidas, o valor crítico determinado é de 44,5 valores SPAD.
- No estágio de 12 folhas e florescimento os valores críticos são 44,0 e 44,1, respectivamente, obtendo alta correlação com a produtividade.
- No estágio de oito folhas, em Cruz Alta, há correlação significativa de massa seca e quantidade de nitrogênio na massa seca com IVB e dose recomendada pelo N-Sensor.

- A aplicação de fertilizante nitrogenado à taxa variada com o N-sensor (espectroscopia ótica) é capaz de aumentar a produtividade de milho em ambos os experimentos quando comparada com aplicação a taxa fixa para a mesma dose.
- Em Tio Hugo obteve-se eficiência do uso de N superiores aos resultados de Cruz Alta, evidenciando-se que as condições climáticas afetam o uso eficiente de N em Cruz Alta.
- No experimento de Tio Hugo à taxa variada com o N-sensor com dose de 150 kg ha^{-1} obteve 94% do teto de produtividade do experimento, aumentando a produtividade em 3,1% em comparação com a aplicação à taxa fixa.
- Em Cruz Alta, a maior produtividade é observada no tratamento com aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado, com um aumento de 8,05% em relação à mesma dose aplicada a taxa fixa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de N ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 25, p. 157-165, 2001.

AMADO, T. J. C. et al. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 831-843, 2009.

AMADO, T. J. C. et al. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1101-1110, 2007.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUCK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob Sistema de Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 26, p. 241-248, 2002.

ANDRADE, A. G.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.). **Acumulação de micronutrientes**, São Paulo, n. 32, p. 150-172, 1975.

ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M. B. M. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: CEPLAC-SBCS, 1985. p. 244-273.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1379-1387, 2004.

ARGENTA, G. et al. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 109-119, 2003.

ARGENTA, G. et al. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 519-527, 2002.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; CLAYTON GIANI BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, 2001.

ARGENTA, G. **Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho**, 2001. 112 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BERGAMASCHI, H. et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1999. 125 p.

BIANCHINI, A.; GARCIA, F.; MELCHIORI, R. Nitrogen management in field crops of the Southern Cone of Latin America. In.: HATFIELD J.L.; FOLLETT R.F. (Eds). **Nitrogen in the environment: sources, problems, and management**. [S.l.]: Elsevier, 2008. p. 105-143.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, n. 1, p. 56-60, 1995.

CANTARELA, H.; DUARTE, A. P. Tabela de recomendação de adubação NPK para milho safrinha no Estado de São Paulo. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, 1997, Assis. **Anais...** Campinas: CATI/IAC/IEA, 1997. p. 65.

CARVALHO, L. B. et al. Estudo comparativo do acúmulo de massa seca e macronutrientes por plantas de milho var. BR-106 e *Brachiaria plantaginea*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 293-301, 2007.

CASEIRO, F. T. et al. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura do milho (*Zea mays* L.), no período seco em Santo Antônio do Leverger – MT. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 177-182, 1997.

CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A.; WALTERS, D. T. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. **AMBIO**, Suécia, v. 31, p. 132-140, 2002.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society American**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC - CQFS–RS/SC.
Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3. ed. Passo Fundo: SBCS- Núcleo Região Sul/ UFRGS, 2004. 400 p.

DERPSCH, R.; SISIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 20, p. 671-773, 1985.

DUETE, R. R. C. et al. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (^{15}N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, 2008.

DWYER, L. M. et al. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 75, n. 1, p. 179-182, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

EMATER/RS-Ascar. **RS: levantamento aponta queda na intenção de plantio de milho.** Disponível em: <<http://www.grupocampofert.com.br/site/2009/09/03/rs-levantamento-aponta-queda-na-intencao-de-plantio-de-milho>>. Acesso em: 05 set. 2009.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos, SP: [s.n.], 2000. p. 255-258.

FONTOURA, S. M. V. Uréia apresenta melhor custo benefício. **Revista do Produtor Rural**, Guarapuava, PR, n.13, 2009.

FREEMAN, K.W. et al. Late-season prediction of wheat grain yield and grain protein. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, p. 1837-1852, 2003.

GIACOMINI, S. J. et al. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto: II – Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 751-762, 2004.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. A. **Agricultura de Precisão com o Sistema CR-Campeiro 6.:** manual do usuário. Santa Maria: UFSM/ CCR/ Laboratório de Geomática/ Departamento de Engenharia Rural, 2007. 319 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Dados de produção agrícola**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores>>. Acesso em: 30 junho 2008.

JEMISON, J. M.; LYTLE, D. E. Field evaluation of two nitrogen testing methods in maize. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 9, n. 1, p. 106-113, 1996.

KANG, S. et al. Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semi-humid region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 59, p. 239-254, 2003.

KOPPEN, W. P. **Climatologia, com un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

LEMAINSKI, C. L. **Agricultura de Precisão em áreas irrigadas com pivô central no Rio Grande do Sul**. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS,

LANGE, A. et al. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 460–467, 2006.

LEMAIRE, G. **Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops**. New York: Springer, 1997. 239 p.

MATZENAUER, R. et al. Modelos agrometeorológicos para a estimativa do rendimento do milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 225-241, 1995.

MELCHIORI, R. et al. Avances em La utilización de sensores remotes para manejo de nitrógeno de maíz. In: NATIONAL CONGRESS OF AAPRESID, 14., 2005. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 2005. p. 155-160.

MINOLTA CAMERA. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502**. Osaka : Minolta, Radiometric Instruments Divisions, 1989. 22 p.

PAVINATO, A. et al. Resíduos culturais de inverno e rendimento de grãos de milho no sistema de cultivo mínimo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 29, p. 1427-1432, 1994.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 1, p. 59-65, 1992.

PROJETO AQUARIUS – Agricultura de Precisão. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/projetoaquarius>>. Acesso em: 20 dez. 2009.

POVH, F. P. **Utilização de sensor ótico ativo em culturas de cereais.** Piracicaba. 2007. 85 f. Dissertação (Mestrado) – ESALQ- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

POVH, F. et al. Uso de Sensor Ótico Ativo Aplicado ao Manejo de Nitrogênio em Trigo. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 2007, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: [s.n.], 2007. p. 343-350.

RADIN, B. et al. Estimativa da evapotranspiração da cultura do milho pelo método Penman-Monteith modificado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 185-191, 2000.

RAMBO, L. et al. Adequação de doses de nitrogênio em milho com base em indicadores de solo e planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 401-409, 2008.

RAMBO, L. et al. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1279-1287, 2004.

SANTI, L. A. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão.** Santa Maria. 2005. 175 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em áreas severamente erodidas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 115-122, 1998.

SILVA, F. A. S. **ASSISTAT Versão 7.5 beta.** 2008. Disponível em: <<http://www.assistat.com.br>>. Acesso em: 12 dez. 2009.

SILVA, E. C. et al. Utilização do nitrogênio(¹⁵N) residual de coberturas de solo e da uréia pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 965-974, 2006.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho- Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1013- 1020, 2003.

SINCLAIR, T. R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 1, p. 90-98, 1989.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

VARVEL, G. E.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D. Ability for inseason correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 4, p. 1233-1239, 1997.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

WASKOM, R. M. et al. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. New York, v. 27, n. 3, p. 545-560, 1996.

YARA International ASA. **Manual do Yara N-Sensor**. versão 3.0. Duermen, Alemanha: Research Center Hanninghof, 2008.

CAPÍTULO II

FERTILIZAÇÃO NITROGENADA À TAXA VARIADA EM TEMPO REAL NA CULTURA DO TRIGO UTILIZANDO SENSOR ÓTICO

RESUMO

Os solos da Região Sul apresentam, em sua predominância, disponibilidade insuficiente de nitrogênio (N) para atender a exigência nutricional dos cultivos de trigo. Atualmente, o uso de sensores de espectrometria ótica tornou-se uma alternativa para direcionar as adubações de cobertura durante o desenvolvimento da cultura. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de adubação nitrogenada à taxa variada, com sensor de espectrometria ótica (N-Sensor), e a relação de diferentes parâmetros de planta com o rendimento do trigo em Latossolos do RS. Experimentos foram conduzidos nos municípios de Victor Graeff e Cruz Alta. Foram aplicadas doses de N à taxa variada e taxa fixa para avaliação de parâmetros de planta como leitura com clorofilômetro e massa seca correlacionando-as com dados de estimativa de Índice de vigor de biomassa (IVB) e dose recomendada pelo N-Sensor e produtividade de trigo. Para aplicação de N à taxa variada, obteve-se acima de 253 registros ha^{-1} de IVB e dose recomendada pelo N-Sensor. Houve correlação significativa de -0,47 entre a dose indicada pelo N-sensor e a produtividade de trigo no experimento de Victor Graeff. Já em Cruz Alta essa correlação não foi observada. Para as condições estudadas e para ambos os experimentos, não se obteve correlação significativa entre parâmetros de massa seca e leitura de clorofilômetro SPAD com a produtividade, tão pouco com IVB e dose de nitrogênio recomendada pelo N-Sensor. Os valores das determinações de SPAD no estágio de florescimento estão de acordo com os encontrados na literatura, com valor crítico de 40,6. Os experimentos obtiveram médias de produtividade de 2520 kg ha^{-1} em Victor Graeff e 2858 kg ha^{-1} em Cruz Alta, sendo superiores a média da Região Sul (2070 kg ha^{-1}). Não houve diferença de produtividade entre os tratamentos com aplicação a taxa fixa e taxa variada utilizando o N-Sensor para o trigo em Latossolos do Planalto. O aumento da produtividade de grãos com aplicação de N à taxa variada, utilizando o N-Sensor, quando comparada com aplicação à taxa fixa, foi de 0,2% em Cruz Alta e, em Victor Graeff, houve redução de 4,35%.

Palavras Chave: agricultura de precisão, nitrogênio, *Triticum aestivum*.

1 INTRODUÇÃO

Segundo resultados divulgados em janeiro de 2010, pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2010), em 2009 foram cultivados, aproximadamente, 2,4 milhões de ha de trigo, com uma produção estimada em 5,02 milhões de Mg e uma produtividade média de 2070 kg ha⁻¹. Essa produtividade reduzida é atribuída aos efeitos do clima, do nível de investimentos nas lavouras, do baixo potencial genético das cultivares utilizadas, adubações insuficientes e ataque de pragas, doenças e plantas invasoras.

O cultivo de trigo não possui apenas embasamento em aspectos econômicos e comerciais, mas também é importante para a manutenção e rotação de culturas no Sistema Plantio Direto (SPD) dentro das propriedades rurais (FIORIN, 1999). Segundo Sá (1993), o SPD, amplamente utilizado nas lavouras do Planalto do RS, promove um aumento nos teores de Matéria Orgânica do solo (MOS), assim como o de nutrientes (ELTZ et al., 1989) e da atividade microbiana (CAMPOS et al., 1995), além de reduzir perdas e controlar a erosão.

O trigo, por ser uma gramínea, possui elevada demanda em N. Entretanto, para a maioria dos solos da Região Sul a disponibilidade de N é insuficiente para atender a demanda das plantas cultivadas, mesmo em áreas com SPD consolidado, assim o aporte de N a cultura torna-se necessário, porém o excesso pode causar acamamento da cultura, principalmente para cultivares de porte alto, mais suscetíveis a esse problema (CRUZ et al., 2003). Para a recomendação das doses de N na adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, são utilizados como critérios o teor de Matéria Orgânica do solo (MOS), a expectativa de rendimento e a cultura antecessora (CQFS – RS/SC, 2004).

A liberação descontínua e incerta de nutrientes via mobilização/imobilização dos resíduos de culturas antecessoras (AITA e GIACOMINI, 2003) e interferência de fatores climáticos (ROSSATO, 2004; AMADO et al., 2002), podem alterar a expectativa de produtividade e influenciar negativamente a eficiência de uma adubação nitrogenada, uma vez que o excesso de umidade pode carrear este nutriente através de lixiviação ou percolação, e a falta pode ocasionar perdas por volatilização (KLUTHCOUSKI et al., 2006).

Na atualidade, já existem outros métodos de determinação dos teores de N, que utilizam parâmetros de plantas por apresentarem melhor desempenho na definição das necessidades de nitrogênio, em relação a parâmetros de solo (POVH, 2007; ACOSTA 2009). Dentre os principais avanços está o uso de clorofilômetros manuais como o SPAD, pois

através da clorofila, pode-se obter uma estimativa indireta do status nutricional da planta, uma vez que o N é constituinte dessa molécula (POVH et al., 2007).

Por apresentar baixa sensibilidade ao consumo de luxo de N, a medida efetuada pelo clorofilômetro está sendo considerada melhor indicadora do nível desse nutriente do que seu próprio teor na folha (BLACKMER e SCHEPERS, 1995; ARGENTA et al., 2001) e, por estar correlacionada com a produtividade de grãos, a determinação do teor relativo de clorofila na folha pelo clorofilômetro tem sido utilizada para predizer a necessidade de adubação nitrogenada em cobertura para várias culturas, especialmente trigo (FOLLET et al., 1992; BREDEMEIER, 1999; SINGH et al., 2002).

Assim a utilização da espectrometria ótica veio a resolver um dos problemas da AP para a aplicação de fertilizantes nitrogenados à taxa variada. Dentre os sensores embarcados em máquinas, destaca-se o N-Sensor, que quantifica os teores de biomassa e clorofila, correlacionando-os em tempo real e comandando as aplicações de N, quando interligado a um distribuidor de fertilizante a taxa variável.

O aparelho já é utilizado em mais de 20 países entre Europa, América do Norte e Austrália, em culturas como milho, trigo, arroz, cana-de-açúcar, batata, canola e algodão. Tem como vantagens o diagnóstico da demanda de N antecipada e, segundo AGRICON (2010), incremento em produtividade de 7%, redução de até 80% no acamamento, maior eficiência do N aplicado, maior uniformidade de lavoura e aumento na eficiência de colheita. Em trigo tem sido utilizado também para aumentar a qualidade de grão, com aumento de proteína (JORGENSEN e JORGENSEN, 2007; MAYFIELD e TRENGOVE, 2009).

O N-Sensor realiza, simultaneamente, determinação de biomassa e clorofila encontradas em uma determinada área de leitura e instantaneamente realiza uma conversão para um índice de valor absoluto denominado “Índice de Vigor da Biomassa” (IVB). Através de uma curva de calibração estabelecida previamente (Figura 14), determina-se a dose de nitrogênio a ser aplicada repassando a informação a um distribuidor de fertilizantes a taxa variável. Todos os dados observados são armazenados em um computador.

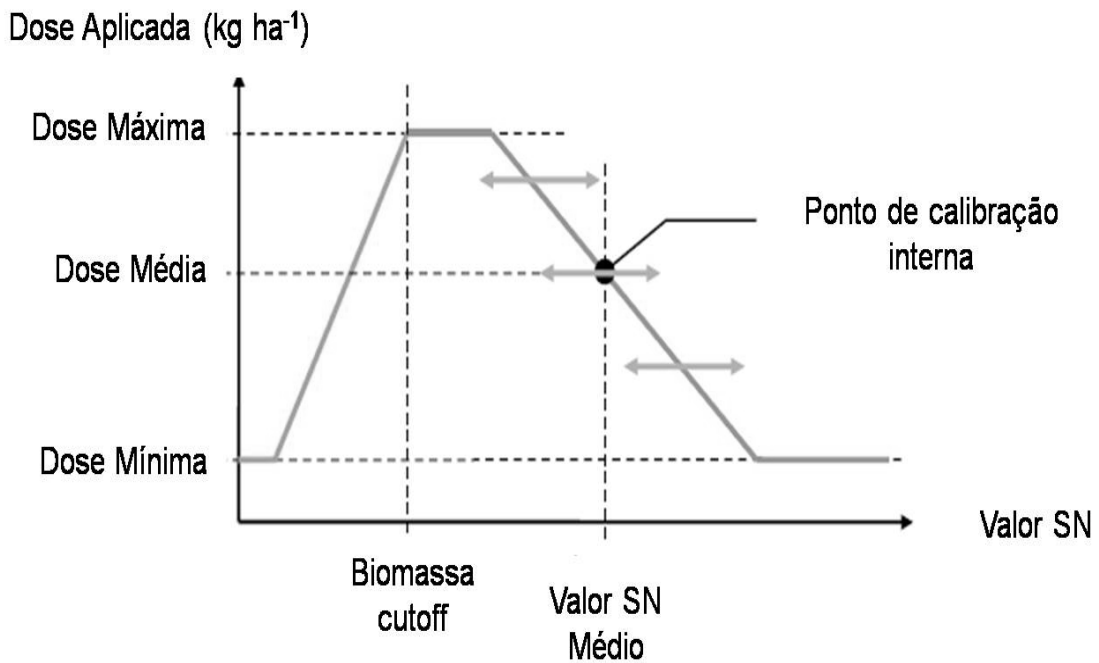


Figura 14 - Modelo de calibração interna da equação de aplicação do N-Sensor para de fertilizante nitrogenado. Adaptado de Yara (2008).

Para uma determinada cultura, em um determinado estágio de desenvolvimento, informa-se o IVB (valor absoluto SN) médio da cultura e a dose média correspondente a ser aplicada. Dessa forma, através de uma equação de calibração estabelecida pelo fabricante o N-Sensor determina a dose a ser aplicada, existindo um valor máximo de IVB para aplicação da menor dose de N e um valor mínimo de IVB para o qual deve ser aplicado fertilizante nitrogenado pela equação calibrada. Quando os valores forem inferiores a esse (Biomassa “*Cutoff*”), o aparelho indica a existência de outro fator, que não o N, que deve estar interferindo no IVB e reduz a dose a ser aplicada, por exemplo, no caso de situar-se em área de manobra no início e no final da faixa de aplicação, onde ocorre redução do número de plantas por amassamento.

Para o correto funcionamento do aparelho, torna-se necessária a calibração do mesmo antes da execução dos trabalhos de aplicação. Para isso, informa-se ao software do N-Sensor dados como o fertilizante nitrogenado a ser utilizado e a quantidade percentual de N neste, o estágio de desenvolvimento da cultura, seguindo a recomendação do manual do fabricante, assim como a dose máxima e a mínima a ser aplicada na área.

A utilização da espectroscopia ótica para aplicação de fertilizante nitrogenado à taxa variada ainda é incipiente no Brasil. Assim, este trabalho teve por objetivo verificar a eficácia do N-sensor em prescrever à taxa variada de N na cultura do trigo e a eficiência da adubação nitrogenada à taxa variada em relação à taxa fixa em áreas experimentais de trigo em Latossolos do RS.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho constou de dois experimentos com a cultura do trigo realizados a campo, no Planalto do Rio Grande do Sul, em áreas com Sistema Plantio Direto (SPD) consolidado sob Latossolos Vermelhos (EMBRAPA, 1999) e relevo suavemente ondulado. Para ambos os experimentos, a cultivar de trigo utilizada foi FUNDACEP-52. A região se caracteriza por apresentar um clima Cfa, subtropical úmido com incidência de estiagens no verão e outono segundo a classificação de Köppen (1948), com índice pluviométrico entre 1600 e 1900 mm.ano⁻¹. A temperatura média anual fica próxima a 19,5°C e a uma altitude situada entre 450 e 600 metros.

A estratégia de adubação que o produtor emprega atualmente em suas lavouras de trigo é aplicação a taxa fixa (método padrão + expectativa de rendimento) no estágio de desenvolvimento de perfilhamento (GS 22-23 – Ground Stage - dois a três perfilhos), seguindo a escala Zadoks (Anexo C) (ZADOKS et al., 1974; BARTMEYER, 2006; ALBERTO et al., 2009). Para aplicação de N à taxa variada utilizando o sensor de espectrometria ótica ativa (N-Sensor ALS[®], YARA), as doses são estabelecidas no estágio de desenvolvimento de alongação (GS 31 – “Ground Stage” - alongação ou primeiro nó da base do colmo aparente), como indicado pelo fabricante.

Em ambas as aplicações, foi utilizado distribuidor de fertilizante, com pratos de distribuição centrífuga (Twister 1500[®], STARA, 2009), acoplado ao sistema de três pontos de comando hidráulico, previamente calibrado, para aplicação em uma faixa de 18 m de largura, sendo assim necessária aplicação de “ida e volta” com sobreposição de faixas.

Para avaliação de espectrometria ótica, foi utilizado o aparelho N-Sensor ALS[®] (YARA), que indicou a quantidade de N a ser aplicada à taxa variada, conforme distribuição horizontal do “vigor de biomassa” das plantas de milho, registrando os dados de Índice de vigor de biomassa (IVB) e dose de N recomendada. Para o correto funcionamento do

aparelho, foi realizada uma calibração antes da execução dos trabalhos de aplicação, informando ao software do N-Sensor dados como o produto utilizado como fertilizante nitrogenado e a quantidade percentual de N nesse, o estágio de desenvolvimento da cultura, seguindo recomendação do manual do fabricante, assim como a dose máxima e a mínima a ser aplicada na área. Dessa forma, através de uma equação de calibração estabelecida pelo fabricante, o equipamento determinou a dose a ser aplicada.

As amostras de MS e determinação de clorofilômetro foram realizadas ao longo da faixa de aplicação, distanciadas a cada 40 m, em pontos georreferenciados (sempre nos mesmos locais). Tomou-se o cuidado de realizar as coletas de MS e determinações de clorofilômetro com SPAD para os estádios de perfilhamento e alongação no momento anterior a aplicação do fertilizante nitrogenado.

As determinações de clorofilômetro manual foram realizadas sempre na última folha totalmente expandida, através da média de três leituras realizadas na mesma folha (terço médio inferior, terço mediano da folha e terço médio superior), seguindo metodologia descrita em Argenta (2001), em três plantas diferentes na mesma fileira, fazendo a determinação sempre no colmo principal. As amostras de MS foram coletadas com auxílio de um quadrado de metal de 0,70 x 0,70 m, correspondente a quatro linhas de trigo de 0,70 m de comprimento ou 0,49 m². Posteriormente as amostras foram secas em estufa a 65°C até peso constante para determinação da massa seca.

A colheita manual para determinação da produtividade foi realizada através do corte dos colmos de trigo logo abaixo das espigas, em 1,7 m², provenientes de 2 m lineares de cinco fileiras, para compor uma amostra. Foram coletadas amostras ao longo de uma faixa de aplicação, distanciados a cada 20 m. Posteriormente, as amostras foram debulhadas, e a massa de grãos obtida foi submetida à limpeza através de catação manual de partículas grosseiras e corrente de ar forçada para partículas mais leves. Em seguida, a umidade foi corrigida para 13% para a determinação da produtividade coletada manualmente.

A colheita mecanizada foi realizada com a colhedora dos produtores, sendo essa equipada com sensor de rendimento ótico (STARA) e sensor de umidade. Todos os equipamentos passaram por calibrações e o peso da massa de grãos de cada parcela experimental foi aferido com determinação a campo com a pesagem da colhedora mais os grãos e, posteriormente, descontado o peso da colhedora.

Após a colheita os dados foram tabulados utilizando-se o programa Microsoft Office Excel 2007[®] e o software Sistema CR-Campeiro 6[®] (GIOTTO e ROBAINA, 2007), procurando eliminar, através de filtragens, os valores de produtividade discrepantes, assim

como os erros de posicionamento (coordenadas repetidas) e a presença de valores de produtividade improváveis, quando comparados com os pontos sequenciais (SANTI, 2007). Os mapas e interpolação de dados georreferenciados foram gerados através do software Sistema CR-Campeiro 6[®].

Posteriormente os dados obtidos a partir das doses de N aplicadas foram submetidos à análise de variância seguida de regressões polinomiais através do pacote estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2000). A determinação das correlações entre os parâmetros analisados foi realizada através do software ASSISTAT (SILVA, 2008).

2.1 EXPERIMENTO 1 - Localizado em Victor Graeff - RS

2.1.1 Localização e Histórico de cultivo da área experimental

O experimento foi conduzido a campo em uma área comercial pertencente ao Sr. Volnei Koeche, no município de Victor Graeff - RS, no Planalto do Estado do Rio Grande do Sul, com localização geográfica S 28 35' 11.61179" W 52 36' 51.30014". O relevo é suavemente ondulado e teor médio de argila é de 450,0 g kg⁻¹. A partir do ano de 2005, essa área passou a ser integrante do Projeto Aquarius (PROJETO AQUARIUS, 2010), sendo a mesma manejada com técnicas de AP a partir daquele ano. Os cultivos podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 10 - Histórico dos cultivos antecedendo este estudo no período de 2006 a 2008 para a área experimental localizada em Victor Graeff.

Época de Cultivo	2006		2007		2008		2009
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Cultura	Soja	-	Soja	-	Milho	Aveia	Soja
Produtividade*	3,6	-	3,1	-	7,7	6,5	3,6

*Produtividade média de grãos para as culturas de milho e soja (Mg ha⁻¹), e produtividade média de massa seca para as culturas (Mg ha⁻¹).

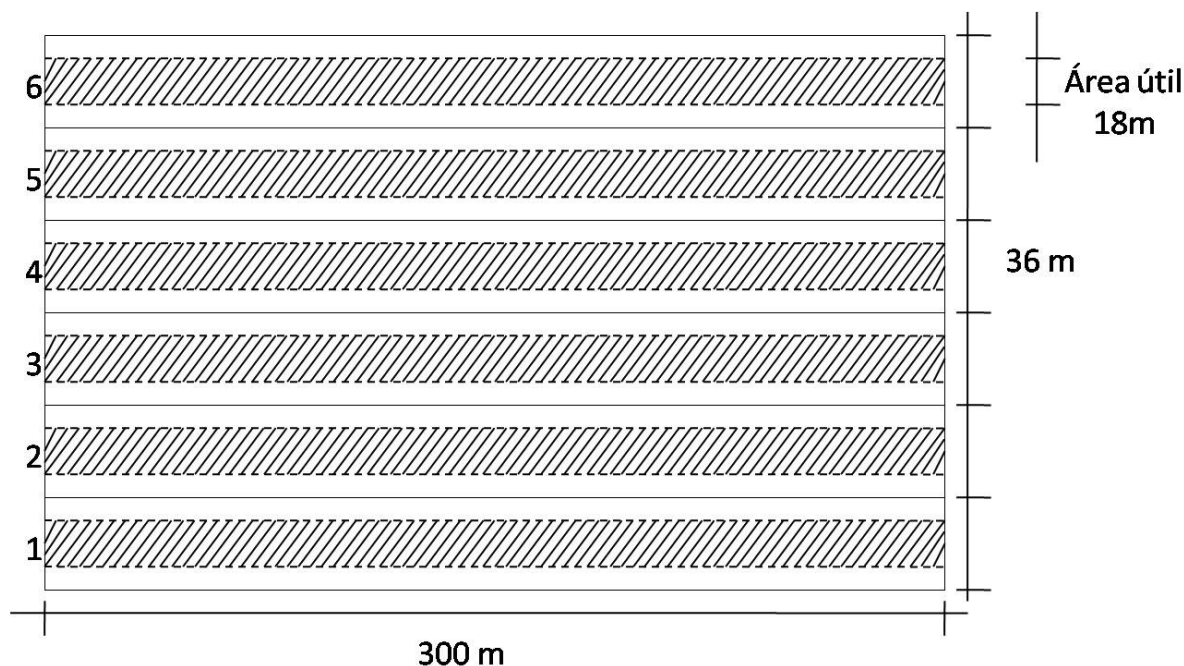
Na camada de 0 – 0,10 m, o solo da área experimental apresentou em média 450,0 g kg⁻¹ de argila, portanto, pertencente à Classe Textural 2 (CQFS – RS/SC, 2004). Os teores médios dos nutrientes são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados das análises granulométricas e químicas do solo, para a camada 0-10 m de profundidade para a área experimental localizada em Victor Graeff.

Profundidade M	Argila g kg ⁻¹	pH 1:1	MOS %	P mg dm ⁻³	K -----cmol _c dm ⁻³ -----	Al	Ca	Mg	CTC %
0 - 0,10	450,0	5,7	3,0	26,8	0,540	0,0	5,5	3,2	11,4

2.1.2 Desenho experimental

O experimento foi conduzido avaliando-se as formas de aplicação de fertilizante nitrogenado, para uma mesma dose de N aplicada, com três repetições. Os tratamentos avaliados foram: (A) 100TF - Aplicação a taxa fixa de fertilizante nitrogenado com dose de 100 kg ha⁻¹ de N seguindo recomendação da CQFS-RS/SC, (2004) e (B) 100TV - Aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado com N-Sensor para a dose 100 kg ha⁻¹ de N. As parcelas foram dispostas em faixas de dimensões de 36 x 300 m, dispostas segundo o sentido das fileiras de plantio do trigo, com área útil dos 18 m centrais, o equivalente a 5400m² por parcela (Figura 15). A área total do experimento foi de 6,48 ha.



*Parcelas 1,3 e 5 aplicação de fertilizante nitrogenado à taxa variada utilizando N-Sensor, parcelas 2, 4,6 aplicação de fertilizante nitrogenado a taxa fixa.

Figura 15 - Croqui do experimento localizado em Victor Graeff, RS, 2010.

2.1.3 Condução experimental e parâmetros avaliados

Procedeu-se o experimento em semeadura direta, em sucessão a soja (com produtividade média de 3660 kg ha^{-1}), no dia 8 de junho de 2009 com a cultivar FUNDACEP-52, utilizando-se espaçamento entrelinhas de 0,17 m, com densidade de 400 sementes m^{-2} e população média estimada em 255 plantas m^{-2} . A semeadora utilizada estava equipada com sistema de duplo disco para deposição de adubo a, aproximadamente, 0,07 m de profundidade e sistema para deposição de sementes a, aproximadamente, 0,02 m de profundidade. A adubação de base foi efetuada na linha com 250 kg ha^{-1} do fertilizante formulado 8-25-20, o equivalente a 20 kg ha^{-1} de N, $62,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 e 50 kg ha^{-1} de K_2O .

Seguindo recomendação da CQFS – RS/SC (2004), no estágio vegetativo GS 22-23 foi realizada a adubação de cobertura para o tratamento A (35DAS) no dia 27 de julho de 2009, aplicando-se 80 kg ha^{-1} de fertilizante nitrogenado na forma de uréia (46%). No dia 14 de agosto do mesmo ano, as plantas encontravam-se no estágio vegetativo GS 30 (50 DAS), quando foi realizada a aplicação de fertilizante nitrogenado para o tratamento à taxa variada, correspondendo a 80 kg ha^{-1} de N (N-Sensor).

Para os estádios de desenvolvimento de perfilhamento, alongação, emborrachamento (05 de setembro de 2009) e florescimento (25 de setembro de 2009), foram realizadas determinações com clorofilômetro manual SPAD e coletas de massa seca (MS), totalizando sete locais amostrais (pontos de coleta).

A colheita manual para determinação da produtividade foi realizada no dia 27 de outubro de 2009. Foram coletadas amostras nos sete pontos onde haviam sido coletadas amostras de MS e clorofilômetro manual e em pontos centrais a esses totalizando 13 locais de coleta manual de produtividade, dentro de cada tratamento. A colheita mecanizada foi realizada nos dias 28 e 29 de outubro de 2009, com uma colhedora do produtor, marca New Holland modelo 5050, sendo essa equipada com sensor de rendimento ótico (STARA).

2.2 EXPERIMENTO 2 - Localizado em Cruz Alta - RS

2.2.1 Localização e Histórico de cultivo da área experimental

O experimento foi conduzido a campo em uma área comercial pertencente ao Sr. Kurt Arns, no município de Cruz Alta, no Planalto do Estado do Rio Grande do Sul, com localização geográfica S 28°31'40" e W 52°40'18". A camada de solo de 0 – 0,10 m na área experimental, apresentou, em média, 500,0 g kg⁻¹ de argila. O relevo da região é suavemente ondulado.

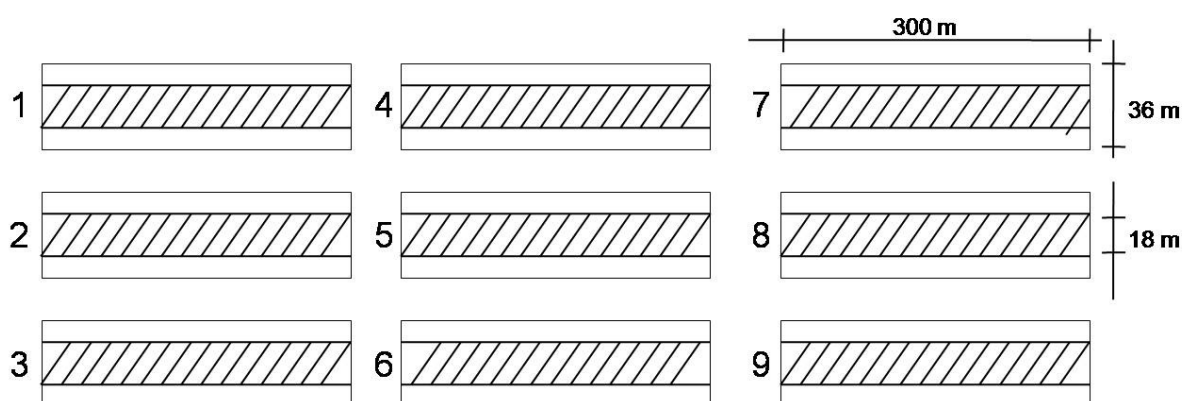
Na camada de 0 – 0,10 m, o solo da área experimental apresentou em média 500,0 g kg⁻¹ de argila, portanto, pertencente à Classe Textural 2 (CQFS – RS/SC, 2004). Os teores médios dos nutrientes são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados das análises granulométricas e químicas do solo, para a camada 0-10 m de profundidade para a área experimental localizada em Cruz Alta.

Profundidade m	Argila g kg ⁻¹	pH 1:1	MOS %	P mg dm ⁻³	K -----cmol _c dm ⁻³ -----	Al	Ca	Mg	CTC %
0 - 0,10	50,0	5,1	3,8	17,2	0,414	0,2	5,1	2,1	12,0

2.2.2 Desenho Experimental

Foram avaliadas as formas de distribuição de fertilizante nitrogenado, para uma mesma dose de N aplicada, com três repetições. Os tratamentos avaliados foram: (A) 100TF - Aplicação a taxa fixa de fertilizante nitrogenado com dose de 100 kg ha^{-1} de N seguindo recomendação da CQFS-RS/SC, (2004), (B) 100TV - Aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado com N-Sensor para a dose de 100 kg ha^{-1} de N e (C) 100TVR - Aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado com N-Sensor + redutor de crescimento para a dose 100 kg ha^{-1} de N. As parcelas foram dispostas em faixas de dimensões de $36 \times 360 \text{ m}$, dispostas segundo o sentido das fileiras de plantio do trigo, com área útil de 18 m centrais o equivalente a 6480 m^2 por parcela (Figura 16). A área total do experimento foi de $11,66 \text{ ha}$.



*Parcelas 1, 5 e 9, aplicação de fertilizante nitrogenado a taxa fixa. Parcelas 2, 6 e 7, aplicação de fertilizante nitrogenado à taxa variada utilizando N-Sensor. Parcelas 3,4, 6 e 8, aplicação de fertilizante nitrogenado à taxa variada utilizando N-Sensor e utilização de regulador de crescimento.

Figura 16 – Croqui do experimento localizado em Cruz Alta, RS, 2010.

2.2.3 Condução experimental e parâmetros avaliados

Procedeu-se o experimento em semeadura direta, em sucessão a soja (com produtividade média de 3200 kg ha^{-1}), no dia 10 de junho de 2009 com a cultivar Fundacep-52, utilizando-se espaçamento entre linhas de $0,17 \text{ m}$ e densidade de $400 \text{ sementes m}^{-2}$ e população média estimada em $280 \text{ plantas m}^{-2}$. A semeadora utilizada estava equipada com sistema de duplo disco para deposição de adubo a, aproximadamente, $0,07 \text{ m}$ de profundidade e sistema para deposição de sementes a, aproximadamente, $0,02 \text{ m}$ de profundidade. A

adubação de base foi efetuada na linha com 120 kg ha⁻¹ de DAP (17-42-00), e 100 kg ha⁻¹ de KCl (60% de K₂O) imediatamente antes da semeadura, a lanço na superfície.

Seguindo recomendação da CQFS – RS/SC (2004), no estágio vegetativo GS 22-23 foi realizada a adubação de cobertura para o tratamento A (50 DAS) no dia 30 de julho, aplicando-se 80 kg ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado na forma de uréia (46%). No dia 15 de agosto as plantas encontravam-se no estágio vegetativo GS 30 (65 DAS), quando foi realizada a aplicação de fertilizante nitrogenado à taxa variada para os tratamentos B e C com dose média de 80 kg ha⁻¹ de N (N-Sensor).

A aplicação do redutor de crescimento foi feita aos 52 DAS no dia 1º de agosto de 2009, utilizando-se o produto comercial Moddus[®], na dose de 0,3 L ha⁻¹, no estágio de alongação da cultura. O ingrediente ativo desse produto é o trinexapaque-etílico que inibe a biossíntese de ácido giberélico (GA) (RODRIGUES, 2003), e assim suprime o crescimento vegetativo das plantas, não o eliminando. A formulação é concentrada emulsionável com 250 g de ingrediente ativo por litro de produto comercial.

Para os estádios de desenvolvimento de perfilhamento, alongação, emborrachamento aos 91 DAS (09 de setembro) e florescimento aos 113 DAS (29 de setembro de 2009), foram realizadas determinações com clorofilômetro manual SPAD e coletas de massa seca (MS), totalizando sete locais amostrais (pontos de coleta).

A colheita manual para determinação da produtividade foi realizada no dia 23 de outubro de 2009. Foram coletadas amostras em nove pontos de coleta de MS e clorofilômetro manual e em pontos centrais a estes totalizando 17 locais de coleta manual de produtividade, dentro de cada tratamento, ao longo de uma faixa de aplicação, distanciados a cada 20m. Posteriormente, as amostras foram debulhadas, secas e passaram por limpeza da massa de grãos através da utilização de ar forçado e catação manual de impurezas. A produtividade foi determinada através da correção da umidade para 13% da massa de grãos.

A colheita mecanizada foi realizada no dia 24 de outubro de 2009, com colhedora do produtor, marca New Holland modelo 8040, sendo esta equipada com sensor de rendimento ótico (STARA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variação de índice de vigor de biomassa de plantas de trigo e aplicação à taxa variada utilizando-se o N-Sensor

3.1.1 Experimento 1 – Victor Graeff - RS

No experimento realizado em Victor Graeff, para a aplicação de fertilizante nitrogenado no estágio de alongação, foi atribuída uma dose média de 80 kg ha⁻¹ de N para completar a dose de 100 kg ha⁻¹ de N, sendo aplicadas cerca de 370 taxas diferentes para cada repetição, o que representaria 345 taxas ha⁻¹.

De acordo com os dados da análise estatística do IVB e da dose de N recomendada para o experimento localizado em Victor Graeff, encontrou-se a existência de variabilidade espacial no tratamento com aplicação de N à taxa variada utilizando o N-Sensor, justificando-se o uso de aplicações à taxa variada de N (Tabela 13). Segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), o CV de 21% foi classificado como Médio para as leituras de IVB porém, os dados de recomendação de dose a ser aplicada apresentaram CV de 4%, sendo classificado como baixo. Dessa forma, o CV das leituras pode ser atribuído a variabilidade do IVB, estando correlacionado com os fatores encontrados durante o desenvolvimento da cultura, como cultivar utilizada, estágio fenológico e quantidade de nutriente disponibilizada em adubações anteriores estando de acordo com Argenta (2001) e Povh (2007).

No Tratamento 100TV, obtiveram-se, para a média das aplicações de cobertura, 78,63 kg ha⁻¹ de N, o que representa uma diferença de apenas 1,7% do planejado de 80 kg ha⁻¹ de N, previamente estabelecido para complementar a dose 100 kg ha⁻¹ de N. Observou-se que cerca de 12,68% das doses aplicadas coincidiram com a média, sendo que 36,96% ficaram abaixo desta e 50,36% ficaram acima. Dessa forma, torna-se evidente a necessidade de se fazer uma distribuição à taxa variada dos fertilizantes nitrogenados. Mais detalhes sobre as frequências do IVB e das doses de N recomendadas pelo N-Sensor poderão ser vistas na Figura 17 e 18.

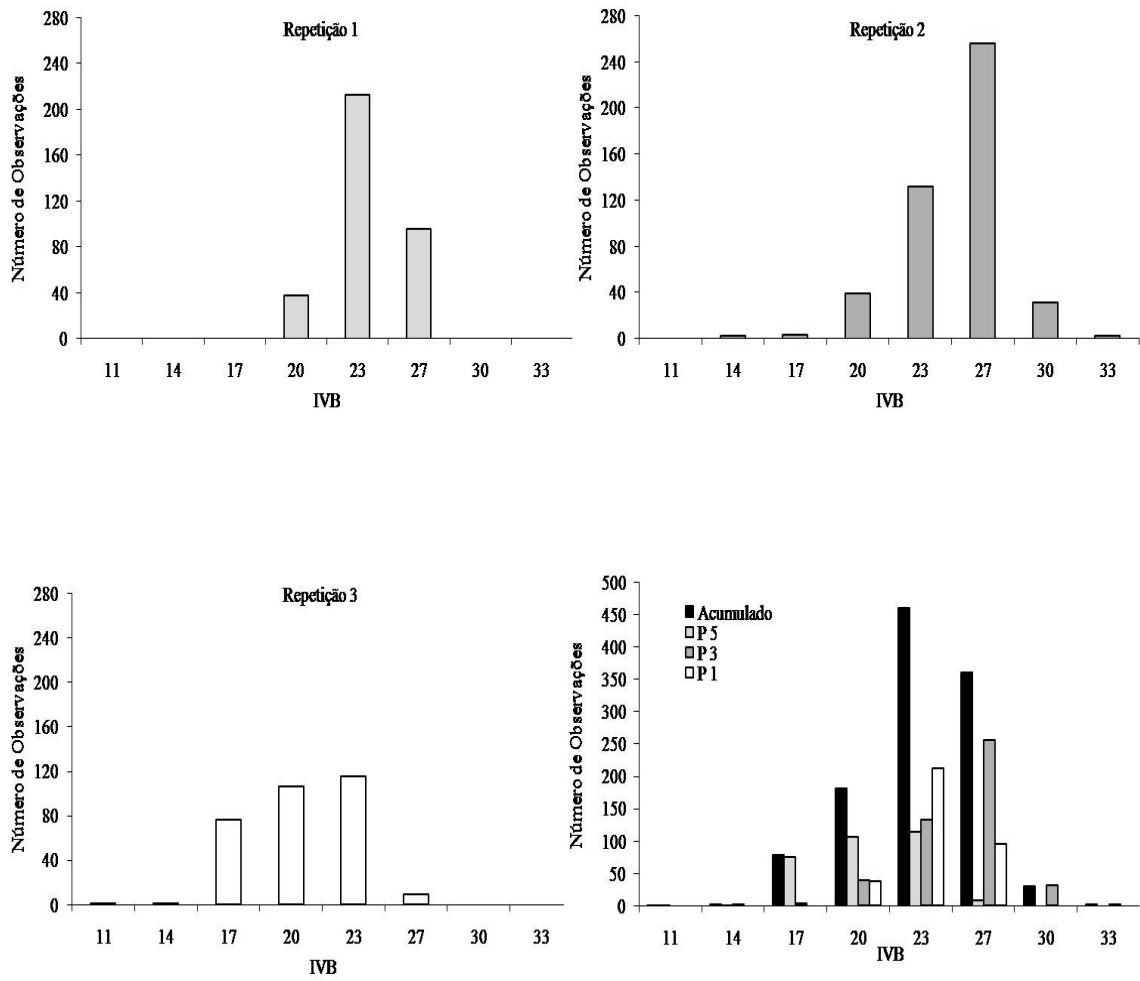


Figura 17 - Frequência do Índice de vigor de biomassa de trigo, para o experimento conduzido em Victor Graeff, RS, 2009.

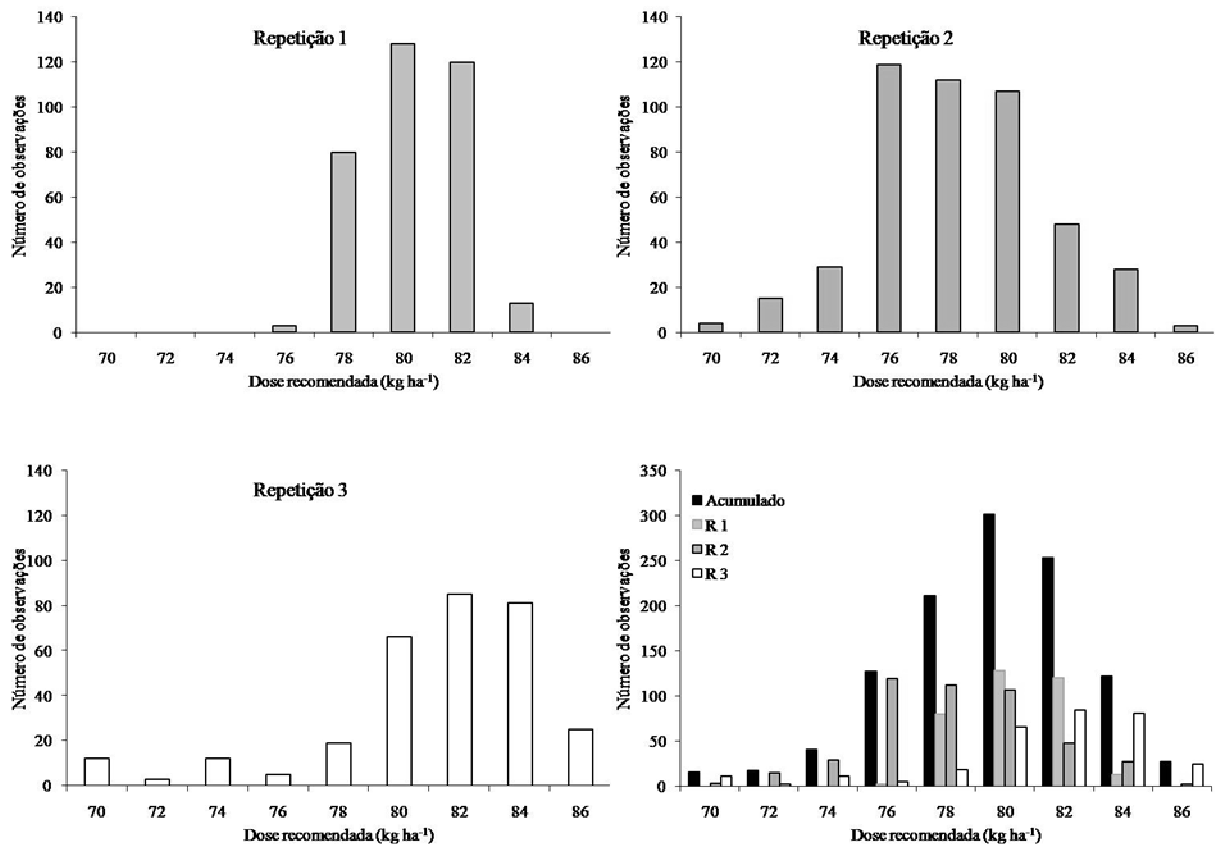


Figura 18 - Frequência das doses recomendadas pelo N-Sensor em função do Índice de vigor de biomassa de trigo, para o experimento conduzido em Victor Graeff, RS. 2009.

Observou-se ainda que para a Repetição 1, cerca de 74,7% das doses recomendadas a serem aplicadas à taxa variada, permaneceram acima da média, 23,4% encontravam-se abaixo da mesma e destes 29,5% encontraram-se abaixo do ponto conhecido como “*Biomass Cutoff*” (Figura 19) na equação de recomendação utilizada pelo N-Sensor para o estágio de GS-30 da cultura.

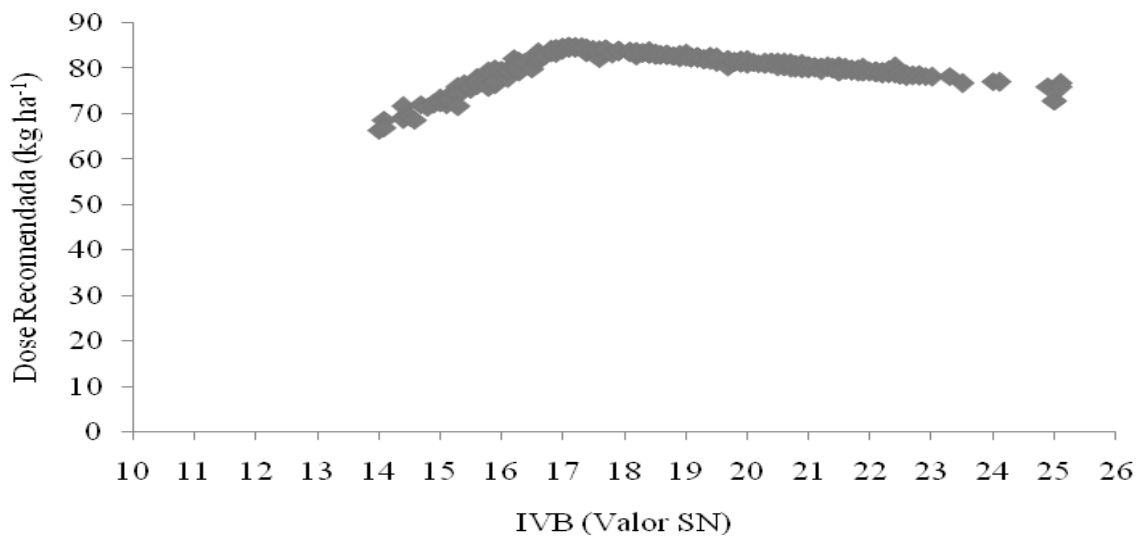


Figura 19 - Dose recomendada pelo N-Sensor em função do Índice de vigor de biomassa de trigo, para a Repetição 1, com presença de “*Biomass cutoff*”. Victor Graeff, RS. 2009.

Desta forma os dados geoestatísticos (Tabela 13), foram ajustados pelo modelo esférico, estando de acordo com Salviano et al. (1998), Silva et al. (2003) e Amado et al. (2009), que mencionaram esse modelo como o que mais frequentemente tem se adaptado a atributos de solo e planta nos ajustes de semivariogramas. Observou-se também que o alcance dos semivariogramas ajustados de IVB variou entre 36 e 108 m, enquanto que os de dose recomendada variaram entre 36 e 54 m. Assim, a diminuição do alcance do semivariograma manteve uma relação direta com o aumento de CV entre os dados de IVB e dose recomendada.

Tabela 13 - Análise estatística e geostatística descritivas de Índice de vigor de biomassa (IVB) e dose recomendada pelo N-Sensor, para o tratamento com aplicação à taxa variada da dose 100 kg ha⁻¹ de N em trigo. Victor Graeff, RS, 2009.

Parâmetros Estatísticos	Leituras N-Sensor (Valor SN)				Dose Recomendada (kg ha ⁻¹)			
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Tratamento
Valor Mínimo	18,7	13,3	11	11	56,3	53,3	75,6	53,3
Valor Máximo	25,1	30,1	25,1	30,1	84,7	84,5	82,9	84,5
Média	21,9	23,7	19,0	21,8	79,9	77,1	79,4	78,6
Variância	2,3	7,6	6,9	22,5	20,7	11,2	2,8	12,8
DP (%)*	1,5	2,7	2,6	4,7	4,5	3,3	1,6	3,5
CV	0,07	0,11	0,14	0,21	0,06	0,04	0,02	0,04

Parâmetros Geostatísticos	Leituras N-Sensor (Valor SN)			Dose Recomendada (kg ha ⁻¹)		
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3
Efeito Pepita	1,78	3,61	1,36	9,24	5,58	1,61
Patamar	6,94	7,70	2,39	20,87	11,28	2,86
Alcance (m)	108,0	54,0	36,0	54,0	54,0	36,0
IDE	0,74	0,53	0,44	0,56	0,51	0,44
Classe	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada

*DP: Desvio Padrão, CV: coeficiente de Variação. Efeito Pepita- C0; Patamar C0 + C1; Alcance: distância após o qual os valores das observações não são correlacionados espacialmente. IDE: Índice de Dependência Espacial (forte: >75%; moderada 74% - 26%; fraca <25%), segundo classificação de Cambardella et al., (1994) modificada por Silva et al., (2003).

Os resultados encontrados foram transformados em mapas de IVB e dose recomendada com auxílio do Software Campeiro 6 (GIOTTO e ROBAINA, 2007), facilitando a visualização dos resultados e da variação encontrada para os experimentos de Victor Graeff, utilizando-se o N-Sensor (Figura 20).

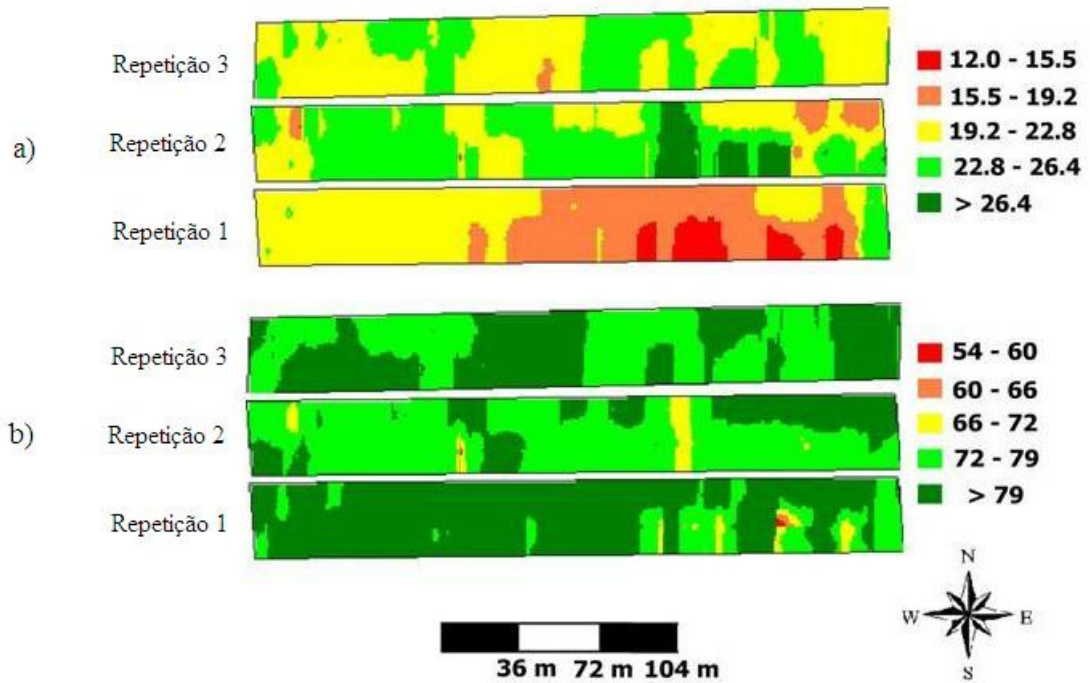


Figura 20 - Mapa de IVB (a) e dose recomendada de N (kg ha⁻¹) (b) pelo N-Sensor para a cultura do trigo com aplicação à taxa variada de fertilizante. Victor Graeff, RS. 2009.

3.1.2 Experimento 2 – Cruz Alta - RS

No experimento realizado em Cruz Alta, para a aplicação de fertilizante nitrogenado no estágio de alongação, foi atribuída dose média de 80 kg ha^{-1} de N para completar a dose de 100 kg ha^{-1} de N, sendo registradas cerca 300 taxas, o que equivaleria a $235 \text{ taxas ha}^{-1}$.

No tratamento 100TV, observa-se a existência de faixas com distintas necessidades de N (Tabela 14) e, dentro da mesma faixa de aplicação, a existência de pontos com maior ou menor necessidade, correspondendo à variação horizontal da resposta da cultura as diferentes condições encontradas até o estágio de alongação. Esses resultados justificam a decisão de aplicações de N em cobertura no trigo à taxa variada.

Assim, para a Repetição 1 do Tratamento com aplicação à taxa variada de N, 51,80% dos pontos receberam dose de N inferior a média recomendada e apenas 15,15% a média. Já na Repetição 2, 68,16% das doses recomendadas pelo N-Sensor encontravam-se abaixo da média, 18,65% correspondiam à média e 13,19% indicavam uma dose acima da média recomendada. Na Repetição 3, obteve-se em 98,68% das doses recomendadas pelo N-Sensor valores superiores a média, e apenas 0,66 corresponderam à média. Dessa forma, para o tratamento 100TV, foi recomendada, em média, uma dose 7,36% superior a dose planejada de 80 kg ha^{-1} de N, correspondendo a $85,89 \text{ kg ha}^{-1}$ de N.

Os dados geoestatísticos (Tabela 14), foram ajustados seguindo o modelo esférico proposto por Salviano et al. (1998), Silva et al. (2003) e Amado et al. (2009). Mais detalhes sobre as frequências de IVB e das doses de N recomendadas pelo N-Sensor poderão ser vistas na Figura 21 e 22.

Tabela 14 - Análise estatística e geoestatística descritivas de Índice de vigor de biomassa e dose recomendada pelo N-Sensor, para o Tratamento 100TV com aplicação à taxa variada de N em trigo. Cruz Alta, RS, 2009.

Parâmetros Estatísticos	Leituras N-Sensor (Valor SN)				Dose Recomendada (kg ha ⁻¹)			
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Tratamento
Valor Mínimo	17,9	19,2	15,1	15,1	71,9	78,8	80,5	71,9
Valor Máximo	27,9	29,7	23,8	27,9	91,8	90,4	92,7	92,7
Média	24,3	24,7	20,4	23,2	84,7	84,3	88,9	85,8
Variância	4,7	2,8	1,7	6,7	5,8	3,0	2,1	8,0
DP (%)*	2,1	1,6	1,3	2,6	2,4	1,75	1,4	2,8
CV	0,08	0,06	0,06	0,11	0,02	0,02	0,01	0,03

Parâmetros Geoestatísticos	Leituras N-Sensor (Valor SN)			Dose Recomendada (kg ha ⁻¹)		
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3
Efeito Pepita	2,45	1,21	0,64	3,04	1,40	0,78
Patamar	4,80	2,82	1,79	5,89	3,09	2,14
Alcance (m)	36,0	126,0	144,0	36,0	72,0	144,0
IDE	0,49	0,57	0,64	0,48	0,55	0,63
Classe	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada

*DP: Desvio Padrão, CV: coeficiente de Variação. Efeito Pepita- C0; Patamar C0 + C1; Alcance: distância após o qual os valores das observações não são correlacionados espacialmente. IDE: Índice de Dependência Espacial (forte: >75%; moderada 74% - 26%; fraca <25%), segundo classificação de Cambardella et al., (1994) modificada por Silva et al., (2003).

Para o tratamento 100TV em Cruz Alta, a dependência da estrutura espacial dos dados observados para o IVB e para a dose recomendada foi classificada como Moderada, segundo classificação proposta por Cambardella (1994) e modificada por Silva et al. (2003). Os resultados do alcance dos semivariogramas ajustados de dose recomendada permaneceram em uma faixa entre 36 e 180 m, sendo explicados pelo grande volume de dados coletados (Amado et al., 2007).

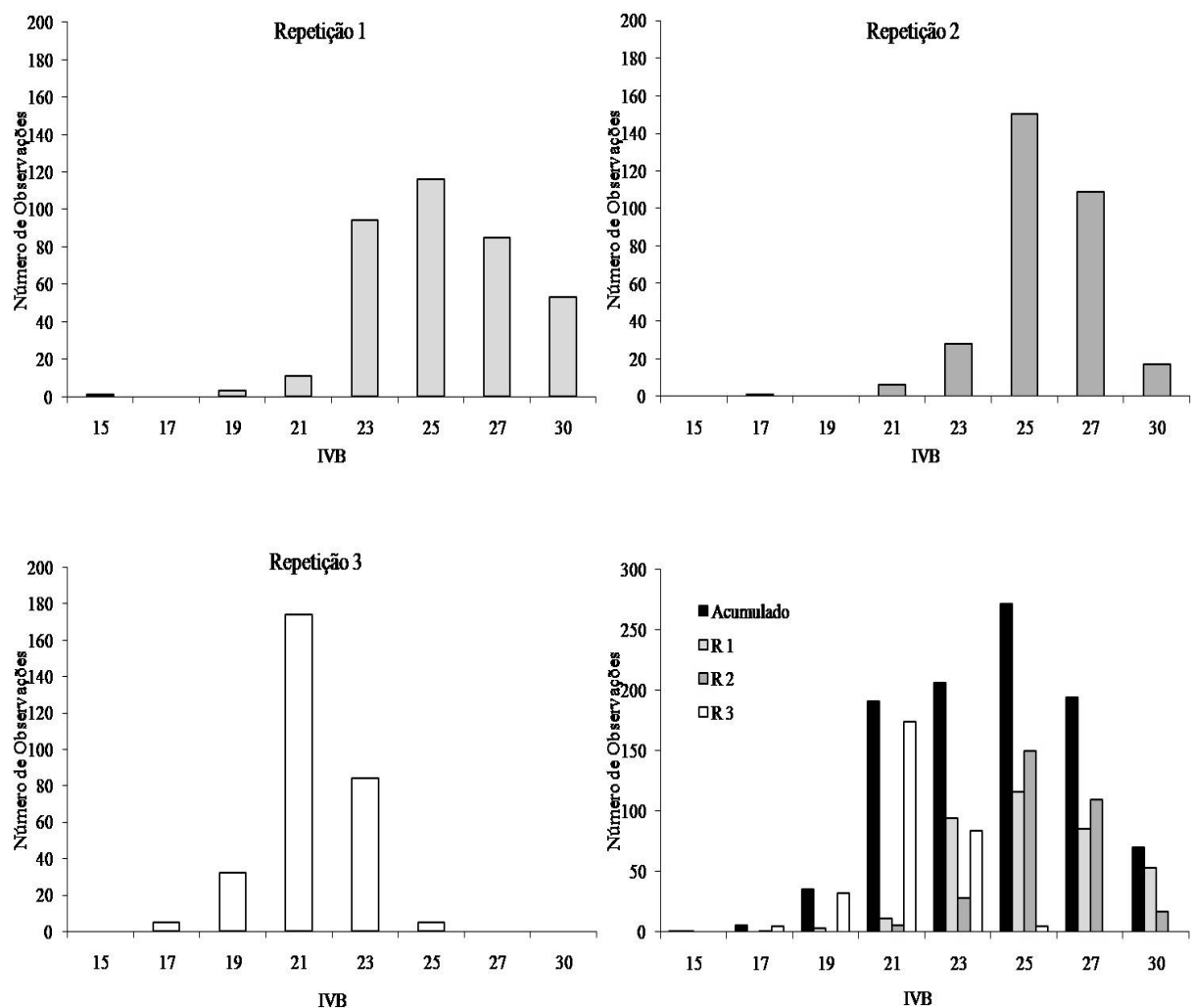


Figura 21 - Frequência do Índice de vigor de biomassa de trigo, para o tratamento 100TV em Cruz Alta, RS. 2009.

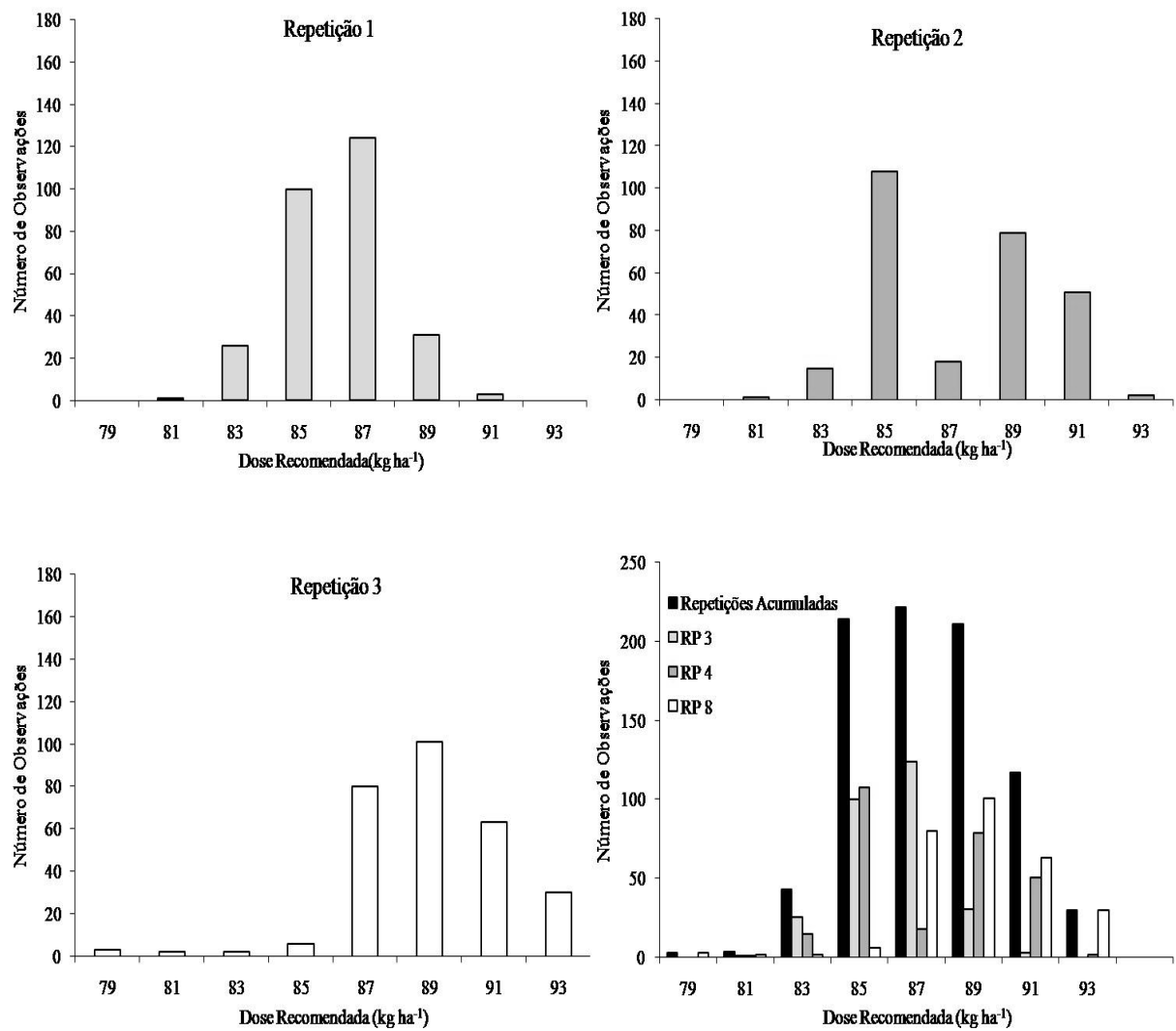


Figura 22 - Frequência das doses recomendadas pelo N-Sensor em função do Índice de vigor de biomassa de trigo, para o tratamento 100TV em Cruz Alta, RS. 2009.

Os resultados encontrados foram transformados em mapas de IVB e dose recomendada com auxílio do Software Campeiro 6, facilitando a visualização dos resultados e da variação encontrada no Tratamento 100TV em Cruz Alta, utilizando-se o N-Sensor (Figura 23).

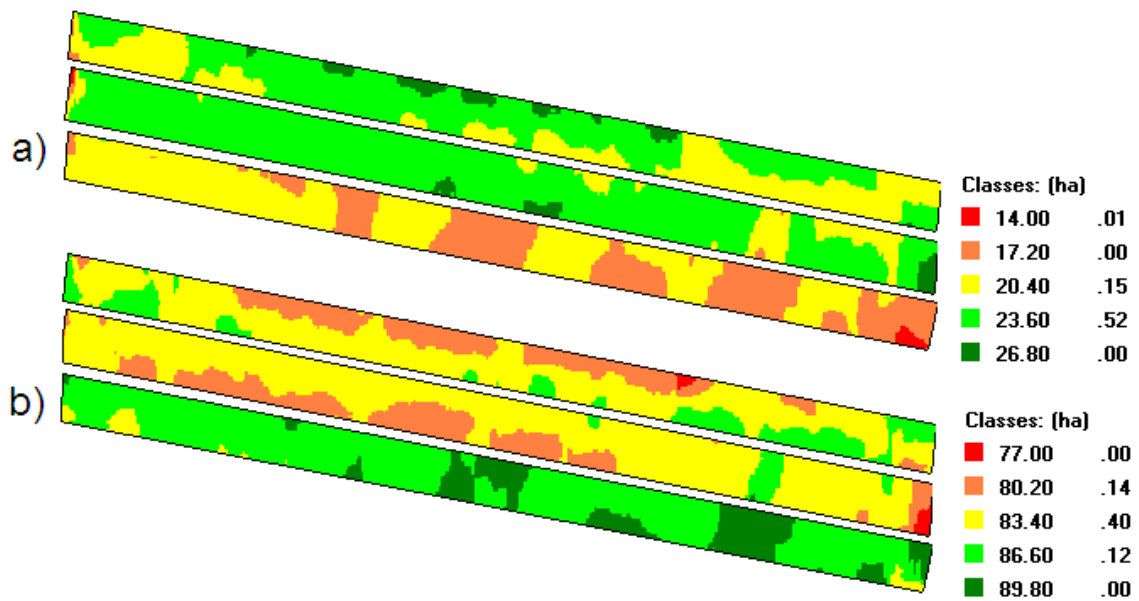


Figura 23 - Mapa de IVB (a) e dose recomendada de N (kg ha^{-1}) (b) pelo N-Sensor para a cultura do trigo no Tratamento com aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado. Cruz Alta, RS. 2009.

Para o Tratamento 100TVR do experimento localizado em Cruz Alta, partindo-se do ponto de referência da média planejada na aplicação de cobertura de 80 kg ha^{-1} , observou-se média correspondente a $86,52 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, o que equivale a uma dose 8,15% superior a média planejada.

Assim, para a Repetição 1 do tratamento 100TVR (Tabela 15), obteve-se em 73,33% dos pontos dose de N inferior a média e, apenas 14,73% dos valores correspondem à média. Já na Repetição 2, 48,54% das doses recomendadas pelo N-Sensor encontravam-se abaixo da média, 3,29% correspondiam à média e 48,17% indicavam uma dose acima da média recomendada. Para a Repetição 3, obteve-se em 67,60% das doses recomendadas pelo N-Sensor valores inferiores a média e 20,55% corresponderam à média. Mais detalhes sobre as frequências de IVB e das doses de N recomendadas pelo N-Sensor poderão ser vistas na Figura 24 e 25.

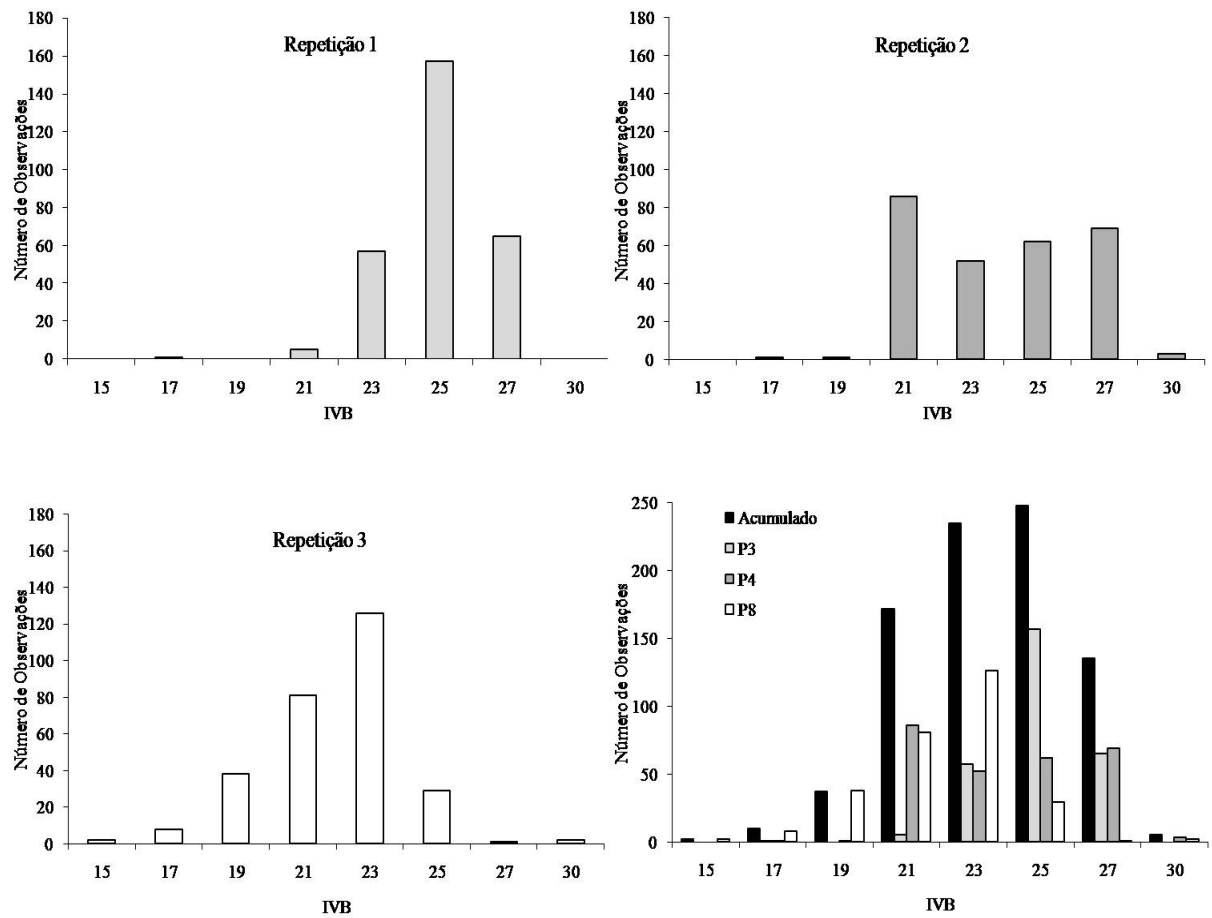


Figura 24 - Frequência do Índice de vigor de biomassa de trigo, para o tratamento 100TVR em Cruz Alta, RS. 2009.

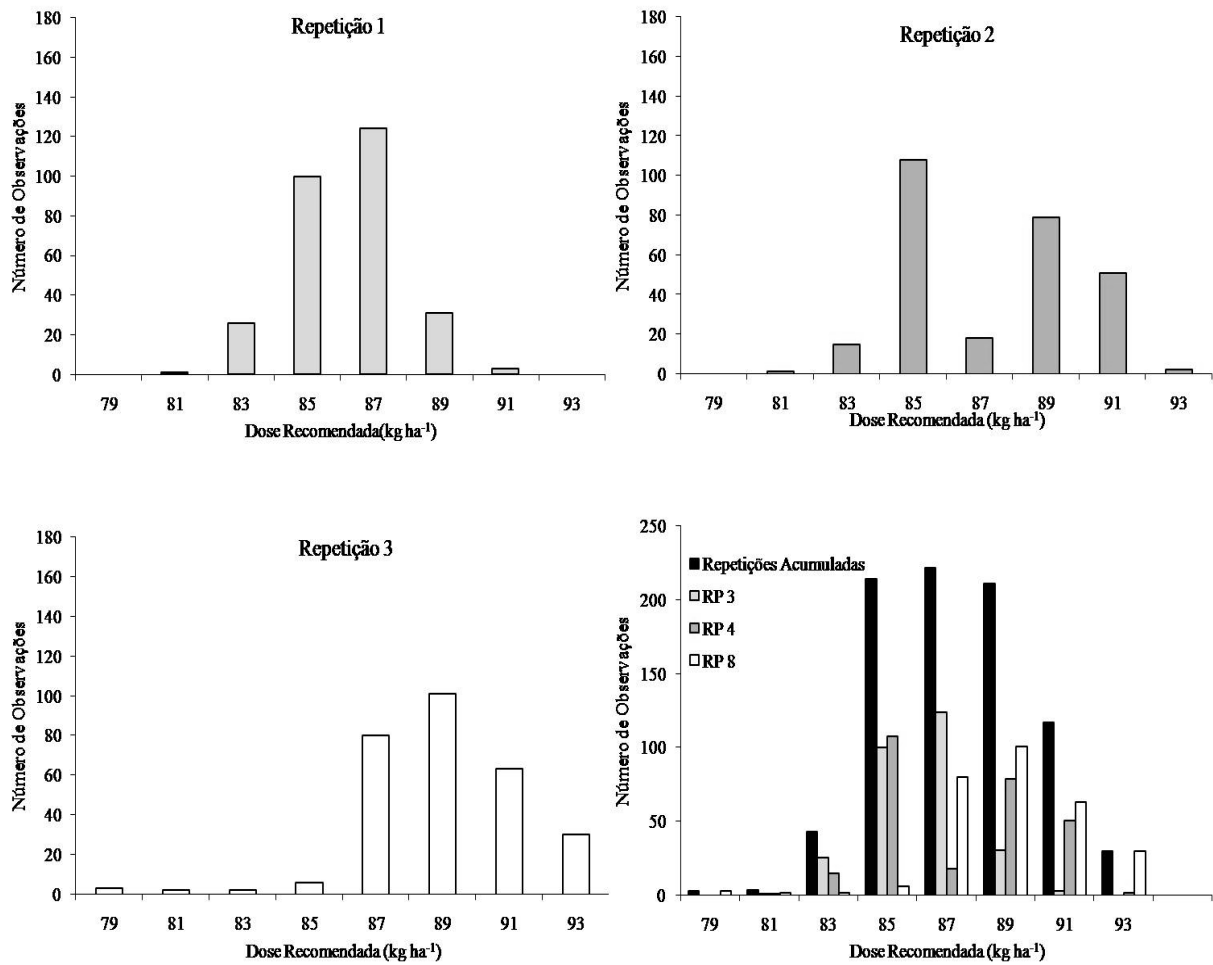


Figura 25 - Frequência das doses recomendadas pelo N-Sensor em função do Índice de vigor de biomassa de trigo, para o tratamento 100TVR em Cruz Alta, RS. 2009.

Porém, segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), para ambos os tratamentos, o CV das doses recomendadas foi classificado como baixo, permanecendo inferior a 3%, assim como para as leituras de IVB, em que se observou CV inferiores a 11%. Dessa forma, os dados geoestatísticos (Tabela15), foram ajustados seguindo o modelo esférico.

Tabela 15 - Análise estatística e geoestatística descritivas de Índice de vigor de biomassa e dose recomendada pelo N-Sensor, para o Tratamento 100TVR com aplicação à taxa variada de N e redutor de crescimento em trigo. Cruz Alta, RS, 2009.

Parâmetros Estatísticos	Leituras N-Sensor (Valor SN)				Dose Recomendada (kg ha ⁻¹)			
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Tratamento	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Tratamento
Valor Mínimo	15,2	17,0	14,7	14,7	80,9	80,8	77,3	77,3
Valor Máximo	26,8	28,0	28,4	28,4	90,4	92,8	92,8	92,8
Média	23,9	22,9	21,0	22,6	85,1	86,3	88,0	86,5
Variância	2,1	5,4	4,3	5,4	2,3	6,6	5,2	6,1
DP (%)*	1,4	2,3	2,0	2,3	1,5	2,5	2,2	2,4
CV	0,06	0,10	0,09	0,10	0,01	0,02	0,02	0,02

Parâmetros Geoestatísticos	Leituras N-Sensor (Valor SN)			Dose Recomendada (kg ha ⁻¹)		
	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3
Efeito Pepita	1,00	3,33	1,67	1,13	4,03	2,22
Patamar	2,13	5,48	4,35	2,31	6,64	5,22
Alcance (m)	144,0	36,0	126,0	180	36,0	126,0
IDE	0,53	0,39	0,62	0,51	0,39	0,57
Classe	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada

*DP: Desvio Padrão, CV: coeficiente de Variação. Efeito Pepita- C0; Patamar C0 + C1; Alcance: distância após o qual os valores das observações não são correlacionados espacialmente. IDE: Índice de Dependência Espacial (forte: >75%; moderada 74% - 26%; fraca <25%), segundo classificação de Cambardella et al., (1994) modificada por Silva et al., (2003).

Os resultados encontrados foram transformados em mapas de IVB e dose recomendada com auxílio do Software Campeiro 6, facilitando a visualização dos resultados e da variação encontrada no Tratamento 100TVR em Cruz Alta, utilizando-se o N-Sensor (Figura 26).

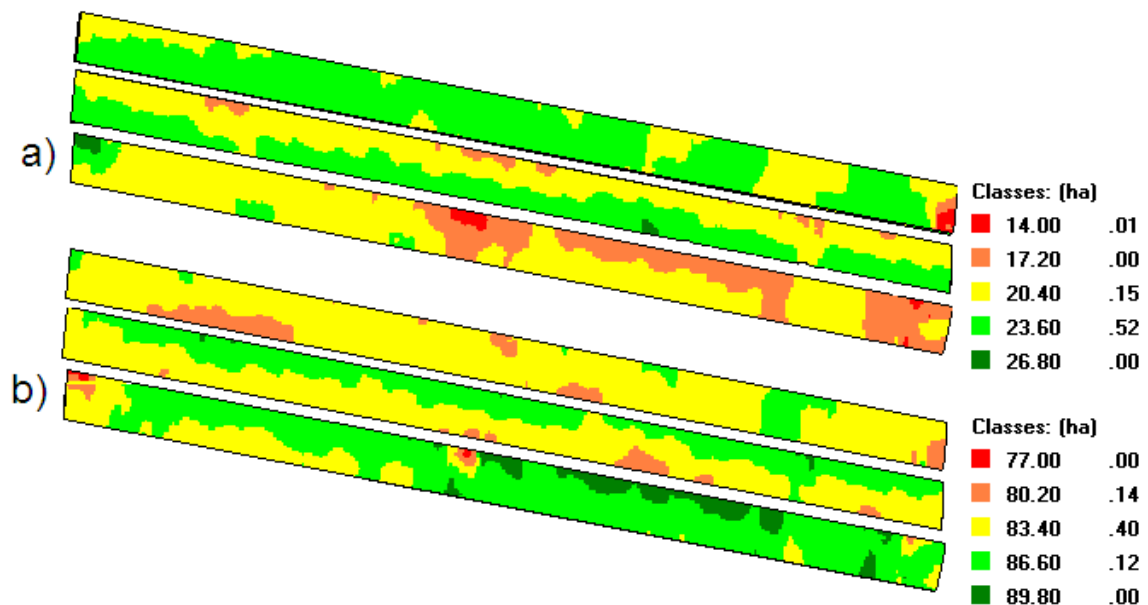


Figura 26 - Mapa de IVB (a) e dose recomendada de N (kg ha⁻¹) (b) pelo N-Sensor para a cultura do trigo no Tratamento com aplicação à taxa variada e redutor de crescimento. Cruz Alta, RS. 2009.

3.2 Correlação dos dados de Índice de vigor de biomassa (IVB) e dose recomendada pelo N-Sensor com parâmetros de plantas de trigo

Observaram-se, para o experimento conduzido em Victor Graeff, no estágio de alongação das plantas de trigo, correlações significativas de -0,59 entre o IVB medido pelo N-Sensor e a dose de nitrogênio recomendada (Tabela 16), enquanto que em Cruz Alta, para a mesma época, a correlação foi de $r=-0,99$ ($p<0,001$). Porém, para Victor Graeff os dados de dose de N recomendada pelo N-Sensor obtiveram correlação negativa com a produtividade $r=-0,47$ ($p<0,001$).

Tabela 16 - Correlações entre os parâmetros de plantas de trigo em diferentes estádios de desenvolvimento para os experimentos localizados em Victor Graeff e Cruz Alta, RS, 2010.

Experimento Victor Graeff - 100TV						Experimento Cruz Alta - 100TV					
Estádio - Elongação						Estádio - Elongação					
	MS	SPAD	PROD	IVB	DR		MS	SPAD	PROD	IVB	DR
MS	1					MS	1				
SPAD	0,08 ^{ns}	1				SPAD	-0,55 ^{**}	1			
PROD	-0,03 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1			PROD	-0,03 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	1		
IVB	0,28 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1		IVB	-0,28 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1	
DR	-0,23 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,47 [*]	-0,59 ^{**}	1	DR	0,28 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,99 ^{**}	1
Estádio - Emborrachamento						Estádio - Emborrachamento					
	MS	SPAD	PROD	IVB	DR		MS	SPAD	PROD	IVB	DR
MS	1					MS	1				
SPAD	-0,27 ^{ns}	1				SPAD	-0,16 ^{ns}	1			
PROD	0,31 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1			PROD	0,05 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	1		
IVB	0,08 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1		IVB	-0,13 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1	
DR	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,47 [*]	-0,59 ^{**}	1	DR	0,14 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,99 ^{**}	1
Estádio - Florescimento						Estádio - Florescimento					
	MS	SPAD	PROD	IVB	DR		MS	SPAD	PROD	IVB	DR
MS	1					MS	1				
SPAD	-0,06 ^{ns}	1				SPAD	0,14 ^{ns}	1			
PROD	0,11 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1			PROD	-0,02 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1		
IVB	0,09 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1		IVB	-0,21 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1	
DR	-0,20 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	-0,47 [*]	-0,59 ^{**}	1	DR	0,20 ^{ns}	0,22 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,99	1

MS = Massa seca; SPAD = Leitura de SPAD; PROD = Produtividade de Grãos; IVB = Índice de vigor de biomassa; DR = Dose recomendada pelo N-Sensor; ^{ns} = não significativo; ^{*} = Significativo a 5% de probabilidade; ^{**} = Significativo a 1% de probabilidade de erro no teste de Tukey.

Para o tratamento 100TV em Cruz Alta obteve-se ainda correlação negativa de -0,55 entre a MS de trigo e as determinações de leitura com clorofilômetro manual (Tabela 16). Correlação negativa foi obtida quando foram avaliados SPAD e parâmetros de planta, esses resultados já haviam sido relatados por Turner e Jund (1991) e Peng et al. (1993), após encontrarem leituras de SPAD acima dos níveis críticos.

Os resultados médios dos parâmetros de planta nos dois locais experimentais foram analisados em conjunto (Tabela 17), uma vez que o trigo foi cultivado sob as mesmas condições. Dessa forma, observou-se correlação significativa apenas entre os resultados de SPAD e MS. Após o estágio de alongação, houve correlação negativa de -0,92 e, para o estágio de florescimento, a correlação foi de -0,94. Os demais parâmetros não se correlacionaram de forma significativa para os diferentes estádios de desenvolvimento contrariamente ao relatado por Waskon (1996) e Argenta et al. (2001), em que não foi observada correlação entre SPAD e produtividade para os experimentos com a cultura do trigo (Tabela 17).

Tabela 17 - Análise das correlações entre os parâmetros médios de plantas de trigo em diferentes estádios de desenvolvimento para o conjunto dos experimentos localizados em Victor Graeff e Cruz Alta, RS, 2010.

Correlações dos parâmetros em diferente estádios							
100TV- Elongação				100TV- Emborrachamento			
	MS	SPAD	PROD		MS	SPAD	PROD
MS	1			MS	1		
SPAD	0,34 ^{ns}	1		SPAD	-0,92 [*]	1	
PROD	-0,50 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1	PROD	-0,24 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1
100TV- Florescimento							
	MS	SPAD	PROD		MS	SPAD	PROD
MS	1						
SPAD	-0,94 [*]	1					
PROD	-0,86 ^{ns}	0,73 ^{ns}	1				

MS = Massa seca; SPAD = Leitura de SPAD; PROD = Produtividade de Grãos; IVB = Índice de vigor de biomassa; DR = Dose recomendada pelo N-Sensor; ^{ns} = não significativo; * = Significativo a 5% de probabilidade; ** = Significativo a 1% de probabilidade.

3.3 Influência de doses de N em taxa fixa e taxa variada nos parâmetros de planta em diferentes estádios de desenvolvimento do trigo

Os resultados obtidos nas leituras com o clorofilômetro manual mostraram a evolução, ao longo do tempo, nas leituras do clorofilômetro (Tabela 18), havendo aumento gradual nas leituras até o estágio de emborrachamento e uma redução no estágio de florescimento. Esse comportamento também foi verificado por Argenta et al. (2001). Porém, em Victor Graeff os resultados da determinação de SPAD permaneceram sempre inferiores aos de Cruz Alta. Assim, segundo Jemison e Lytle (1996) essa diferença pode ser explicada por fatores ambientais como responsáveis por diferenças encontradas. Argenta (2001) cita ainda a quantidade de nutrientes disponibilizada, inerente a características do solo e fatores bióticos.

Do mesmo modo, foi observado um pequeno coeficiente de variação (CV) entre os tratamentos nos estádios de desenvolvimento avaliados, sendo 6, 8, 3 e 4% respectivamente para perfilhamento, alongação, emborrachamento e florescimento (Tabela 18). Esse resultado, obtido com a baixa amplitude entre as leituras de SPAD, já havia sido encontrado por Bredemeier (1999). Dessa forma, segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), o CV foi classificado como baixo, em que um CV <12% é caracterizado como baixo; CV 13% - 62%, classificado como médio e CV > 62% é considerado como alto.

Tabela 18 - Parâmetros de plantas de trigo em diferentes estádios de desenvolvimento para os experimentos conduzidos em Victor Graeff e Cruz Alta, RS, 2010.

Tratamento	Estádio de desenvolvimento								Produtividade (kg ha ⁻¹)
	Perfilhamento		Elongação		Emborrachamento		Florescimento		
	MS (kg ha ⁻¹)	SPAD	MS (kg ha ⁻¹)	SPAD	MS (kg ha ⁻¹)	SPAD	MS (kg ha ⁻¹)	SPAD	
Victor Graeff									
100TF	618 ^{ns}	36,0 ^{ns}	1119 ^a	40,9 ^a	2968 ^a	41,7 ^b	6169,9 ^{ns}	40,4 ^{ns}	2577 ^{ns}
100TV	598	37,0	887 ^b	35,9 ^b	2508 ^b	43,7 ^a	5798,2	40,4	2465
Valor Mínimo	446	26,0	609	31,3	1927	38,6	3499	35,3	1818
Valor Máximo	788	40,9	1403	44,0	4172	44,9	7632	43,3	3299
Média	608	36,5	1003	38,4	2738	42,7	5952	40,4	2520
Variância	6391,6	5,2	35466	10,4	222077,7	2,1	752484,1	3,1	97792,2
DP (%)	79,9	2,2	188,3	3,2	471,2	1,4	867,4	1,7	312,7
CV	0,13	0,06	0,19	0,08	0,17	0,03	0,14	0,04	0,12
Cruz Alta									
100TF	417,5	41,1	934 ^a	43,0 ^a	2770 ^a	43,7 ^b	4473 ^a	41,8 ^b	2897 ^{ns}
100TV	-	-	695 ^b	39,6 ^b	2395 ^b	44,0 ^{ab}	4050 ^b	42,9 ^a	2902
100TVR	-	-	706 ^b	38,6 ^b	2165 ^c	45,2 ^a	3973 ^b	43,8 ^a	2775
Valor Mínimo	41,8	36,4	419	34,4	1568	35,4	2678	37,3	1724
Valor Máximo	21,6	44,8	1793	48,3	4059	48,5	5277	46,1	3895
Média	417	41,1	772	40,4	2443	44,3	4166	42,8	2858
Variância	8360,9	5,6	65910,1	9,3	196193,3	4,0	331769,5	2,6	139829
DP (%)	91,4	2,3	256,7	3,0	442,9	2,0	575,9	1,6	373,9
CV	0,22	0,06	0,33	0,08	0,18	0,05	0,14	0,04	0,13

MS = Massa seca; SPAD = Leitura de SPAD; % N = Teor relativo de N na massa seca; N MS = Teor total de N na massa seca ha⁻¹; PROD = Produtividade de Grãos; IVB = Índice de vigor de biomassa; DR = Dose recomendada pelo N-Sensor; Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância; ^{ns} = não significativo.

Quando foram analisados os resultados da determinação de leitura de SPAD no estágio de florescimento, verificaram-se valores próximos a 40,4, em Victor Graeff e em Cruz Alta, média de 41,8, 42,9 e 43,2, com aplicação à taxa fixa, taxa variada e taxa variada mais redutor de crescimento, respectivamente, estando de acordo com resultados obtidos por Follet et al. (1992), que encontraram valores próximos a 42. Já Reeves et al. (1993) demonstraram valores entre 37 e 42, vindo a corroborar com Argenta (2001), que atribui a variação obtida à diferença de cultivar e fatores abióticos durante o desenvolvimento da cultura.

Dessa forma, foi ajustada uma equação de produtividade relativa do trigo para Victor Graeff e Cruz Alta em função das determinações de SPAD para o estágio de florescimento (Figura 27), na qual o ponto de máxima foi observado com leitura de SPAD de 42,2. O valor crítico de SPAD obtido foi de 40,6, seguindo-se critério da CQFS- RS/SC (2004) para um rendimento relativo de 90%. Esses resultados estão de acordo com Reeves et al. (1993) que encontraram entre 37 e 42 valores SPAD e Folet et al. (1992), que indicaram 42 valores SPAD.

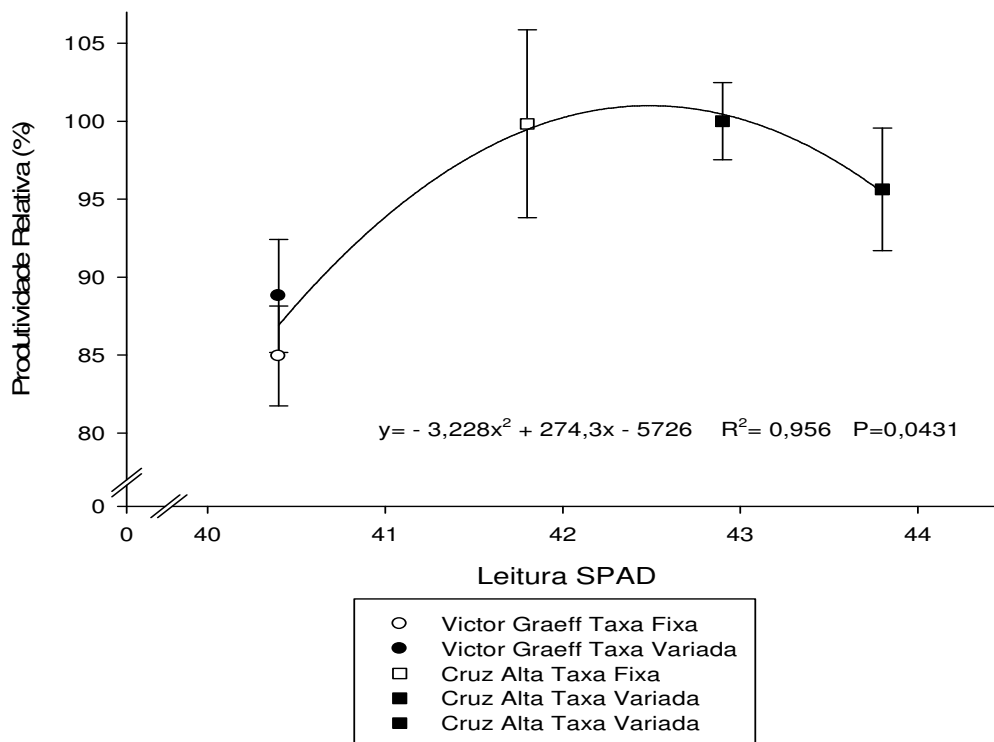


Figura 27 – Produtividade relativa de trigo em função das determinações de SPAD, para os experimentos de Victor Graeff e Cruz Alta, RS. 2009.

Segundo Rambo et al. (2004), não é possível prescrever uma adubação nitrogenada utilizando-se como parâmetro a leitura dos teores de clorofila da planta com o clorofilômetro, uma vez que esses possuem valores muito próximos, como foi o caso desse experimento comprovado pelo baixo CV. Já o N-Sensor demonstrou ser capaz de correlacionar esse parâmetro de planta com a produtividade em Victor Graeff (Tabela 16), sendo mais eficiente na adubação.

Somente após o estágio de alongação foi verificada diferença estatística para o parâmetro MS entre os tratamentos, em ambos os locais (Tabela 18). Porém, após a diferenciação das doses de N aplicadas, as plantas responderam com um aumento de MS de modos distintos, destacando-se a maior produção sempre para o tratamento 100TF, no estágio de florescimento, para Cruz Alta e já não diferindo mais estatisticamente para o experimento conduzido em Victor Graeff.

Os resultados de MS obtidos evidenciam variação entre os tratamentos para todos os estádios de desenvolvimento no experimento conduzido em Victor Graeff, com o coeficiente de variação entre as médias de pesagem de 0,13 no perfilhamento e 0,19 na alongação, enquanto que no experimento conduzido em Cruz Alta, a variação passou de 0,22 para 0,33, no perfilhamento e alongação, respectivamente.

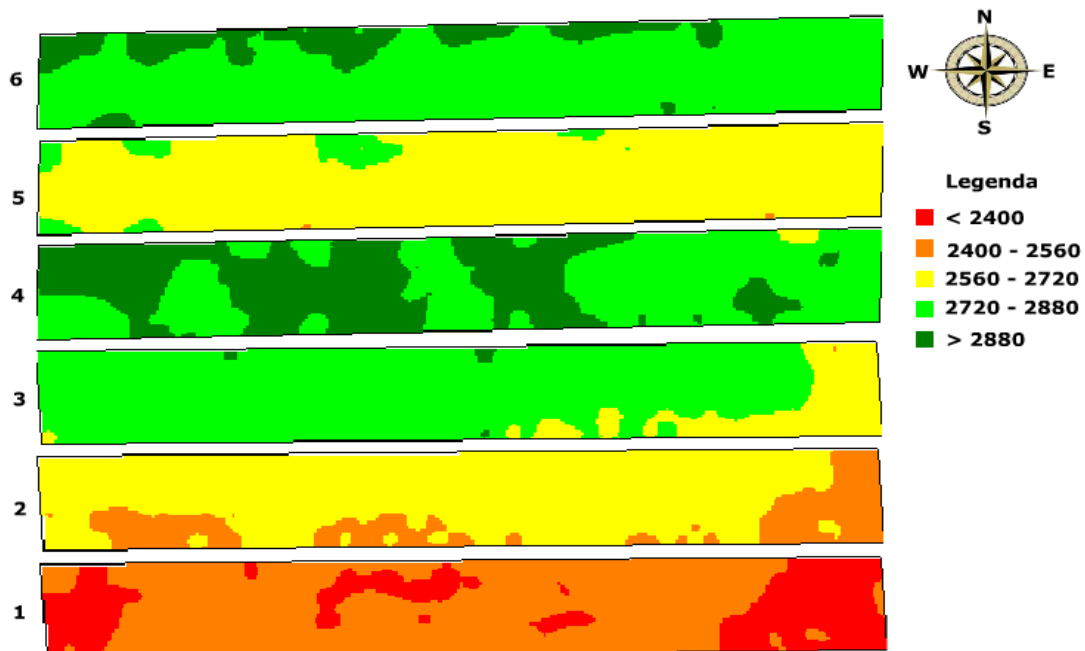
Com base nos resultados de MS, o mais indicado para uma adequada utilização do N-Sensor seria priorizar as aplicações de N no estágio de alongação pela maior variação horizontal encontrada na MS quando comparada ao perfilhamento. Porém, segundo a recomendação da CSBPT (2005), para a aplicação de fertilizante nitrogenado nessa cultura, o estágio de desenvolvimento adequado seria entre o perfilhamento e a alongação, a partir do segundo ou terceiro perfilho. Assim, é possível adequar essa nova técnica para um estágio intermediário de desenvolvimento da cultura, fazendo com que seus benefícios sejam mais pronunciados.

Em Victor Graeff, a produtividade média de trigo da área comercial onde foi conduzido o experimento foi de 2520 kg ha⁻¹, porém nos tratamentos avaliados nesse experimento obtiveram resultados médios de 2577 kg ha⁻¹, para aplicação a taxa uniforme, e de 2465 kg ha⁻¹ para a aplicação à taxa variada determinada pelo N-Sensor (Tabela 18). Já os resultados de Cruz Alta mostraram produtividades de 2897 kg ha⁻¹ para o tratamento com aplicação a taxa fixa, enquanto que o tratamento à taxa variada utilizando o N-Sensor produziu em média 2902 kg ha⁻¹ e o de aplicação à taxa variada mais redutor de crescimento 2775 kg ha⁻¹, não apresentando diferença estatística entre os tratamentos para cada local de

cultivo. Assim, esses experimentos obtiveram boas médias de produtividade, ficando acima das encontradas para a Região Sul, que é de 2070 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010).

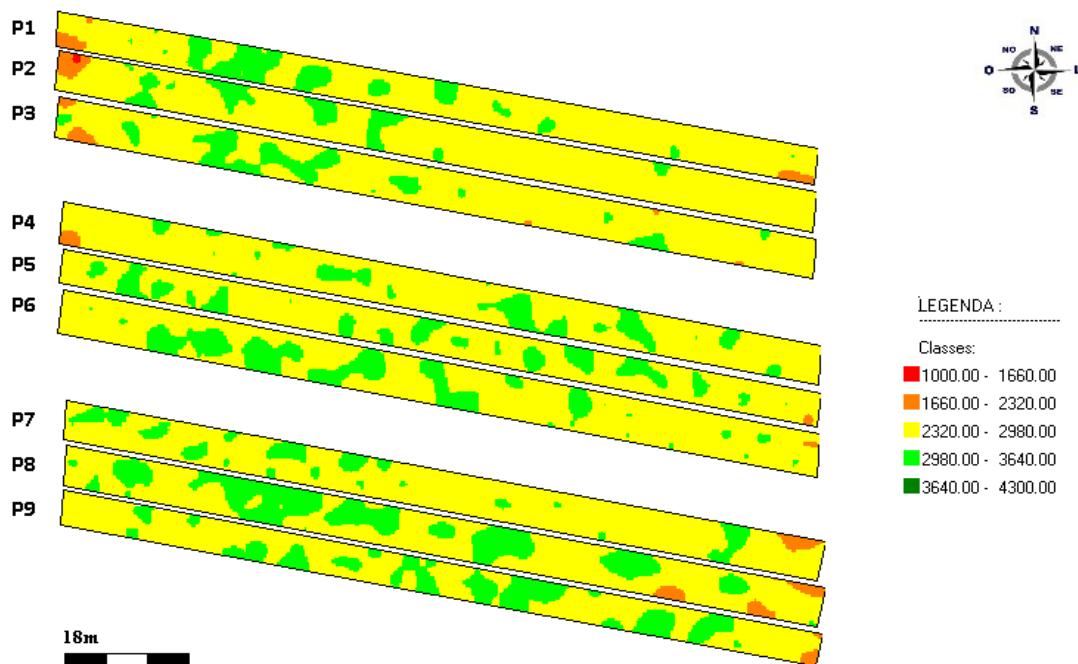
Dessa forma, o aumento da produtividade de grãos com aplicação de N à taxa variada, utilizando o N-Sensor, quando comparada com aplicação à taxa fixa, aumentou em 0,2% a produtividade de grãos em Cruz Alta, mas reduziu em 4,35% em Victor Graeff. Resultados semelhantes foram encontrados por Mayfeald e Trengove (2009) com aumento de 0,8% em 10 experimentos durante dois anos de cultivo.

Os mapas de colheita estão apresentados nas Figuras 28 e 29. Para melhor visualização das imagens, as parcelas não mantêm a localização original. Porém mantém a escala.



*Parcelas 1, 3 e 5 aplicação de fertilizante nitrogenado à taxa variada utilizando N-Sensor, parcelas 2, 4,6 aplicação de fertilizante nitrogenado a taxa fixa.

Figura 28 - Mapa de produtividade de trigo para o experimento localizado em Victor Graeff, RS, 2010.



*Parcelas 1, 5 e 9, aplicação de fertilizante nitrogenado a taxa fixa. Parcelas 2, 6 e 7, aplicação de fertilizante nitrogenado à taxa variada utilizando N-Sensor. Parcelas 3, 4 e 8, aplicação de fertilizante nitrogenado à taxa variada utilizando N-Sensor e utilização de regulador de crescimento.

Figura 29 - Mapa de produtividade de trigo para o experimento localizado em Cruz Alta, RS, 2010.

4 CONCLUSÕES

- Para a aplicação de fertilizante nitrogenado à taxa variada no trigo, nas condições desse experimento, obteve-se mais de 253 registros ha^{-1} de IVB e dose recomendada pelo N-Sensor.
- Em Victor Graeff o IVB apresenta CV de 21%, sendo classificado como médio, enquanto que a dose recomendada apresenta CV de 4%, sendo classificado como baixo. Já para Cruz Alta, os CVs são inferiores a 11% e 4%, classificados como baixos.
- Não há correlação significativa entre a produtividade e parâmetros de massa seca e leitura de clorofilômetro SPAD em trigo.

- Os valores das determinações de SPAD no estágio de florescimento estão de acordo com os encontrados na literatura, com valor crítico de 40,6.
- A dose de nitrogênio recomendada pelo N-Sensor à taxa variada tem correlação significativa de -0,47 ($p < 0,05$) com a produtividade de trigo no experimento realizado em Victor Graeff.
- Nos experimentos as médias de produtividade são 2520 kg ha⁻¹ em Victor Graeff, e em Cruz Alta 2858 kg ha⁻¹, superiores a média da Região Sul, que é de 2070 kg ha⁻¹.
- Não há diferença de produtividade entre os tratamentos com aplicação a taxa fixa e taxa variada utilizando o N-Sensor para o trigo em Latossolos do Planalto.
- O aumento da produtividade de grãos com aplicação de N à taxa variada, utilizando o N-Sensor, quando comparada com aplicação à taxa fixa, é de 0,2% em Cruz Alta e tem uma redução de 4,35% em Victor Graeff. Esses resultados são semelhantes aos encontrados na literatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, J. A. A. **Dinâmica do nitrogênio sob sistema de plantio direto e parâmetros para manejo da adubação nitrogenada no milho.** Santa Maria, 2005, 200f, Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

AGRI CON. **Agri Con Precision Farming Company.** Disponível em: <<http://agrimon.typo3dev.de/en/products/yara-n-sensor>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 601-612, 2003.

ALBERTO, C. M. et al. Modelagem do desenvolvimento de trigo considerando diferentes temperaturas cardinais e métodos de cálculo da função de resposta à temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n.6, 2009.

AMADO, T. J. C. et al. Atributos químicos e físicos de latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p. 831-843, 2009.

AMADO, T. J. C. et al. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1101-1110, 2007.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUCK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob Sistema de Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 26, p. 241-248, 2002.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, 2001.

ARGENTA, G. **Monitoramento do nível de nitrogênio na planta como indicador da adubação nitrogenada em milho.** 2001, 112 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BARTMEYER, T. N. **Produtividade de trigo de duplo propósito submetido a pastejo de bovinos na região dos Campos Gerais – Paraná.** 2006, 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, n. 1, p. 56-60, 1995.

BREDEMEIER, C. **Predição da necessidade de nitrogênio em cobertura em trigo e aveia.** 1999, 101f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1999.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, B. C. et al. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 121-126, 1995.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOL –RS/SC – CQFS-RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 3.ed. Passo Fundo. SBCS- Núcleo Região Sul/ UFRGS, 2004, 400 p.

COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO - CSBPT . XXXVII Reunião da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo. **Indicações Técnicas da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo**, 2005. Cruz Alta. 164p. 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Levantamento de Grãos 2009/2010.** Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 22 dez. 2009.

CRUZ, P. J. et al. Influência do acamamento sobre o rendimento de grãos e outros caracteres em trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, RS, v. 9, n. 1, p. 05-08. 2003.

ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo de solo nas propriedades físicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 259-267, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999, 412p.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In.: Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 45, 2000. **Anais...** UFSCar, São Carlos, SP, 2000. p. 255-258.

FIORIN, J. E. A rotação de culturas e as plantas de cobertura do solo. **Informativo FUNDACEP**. n. 02, Cruz Alta, 1999. p. 8.

FOLLET, R. H.; FOLLET, R. F.; HALVORSON, A. D. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 23, n.7/8, p. 687-697, 1992.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. A Agricultura de Precisão com o Sistema CR-Campeiro 6. **Manual do usuário**. Santa Maria: UFSM/ CCR/ Laboratório de Geomática/ Departamento de Engenharia Rural, 2007. 319p.

JEMISON, J. M.; LYTLE, D. E. Field evaluation of two nitrogen testing methods in maize. **Journal of Production Agriculture**. Madison, v. 9, n. 1, p. 106-113, 1996.

JORGENSEN, J. R.; JORGENSEN, R. N. Uniformity of wheat yield and quality using sensor assisted application of nitrogen. **Journal Precision Agriculture**, Holanda, v. 1, p. 1537-1618, 2007.

KLUTHCOUSKI, J. et al. Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais. **Informações Agronômicas**. Encarte Técnico Potafós, n. 113, Mar. 2006, 24p.

KOPPEN, W.P. Climatologia, com un estudio de los climas de la tierra. **Fondo de Cultura Económica**, México. 1948, 478p.

MAYFIELD, A. H.; TRENGOVE, S. P. Grain yield and protein responses in wheat using the N-Sensor for variable rate N application. **Crop and Pasture Science**, Austrália, v. 60, n.9, p. 818-823. 2009.

PENG, S. et al. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meters estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 5, p. 987-990, 1993.

PROJETO AQUARIUS – **Agricultura de Precisão**. Disponível em:
<<http://www.ufsm.br/projetoaquarius>>. Acesso em: 26 jan. 2010.

POVH, F. P. **Utilização de sensor ótico ativo em culturas de cereais**. Piracicaba, 2007, 85f. Dissertação (Mestrado) – ESALQ- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

POVH, F. et al. Uso de Sensor Ótico Ativo Aplicado ao Manejo de Nitrogênio em Trigo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, 2007. Florianópolis - SC. **Anais...**, Florianópolis, 2007. p. 343-350.

RAMBO, L. et al. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1279-1287, 2004.

REEVES, D. W. et al. Determination of wheat nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter: influence of management practices. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16, n. 4, p. 781-796, 1993.

RODRIGUES, O. et al. **Redutores de crescimento**. Passo Fundo : Embrapa Trigo, 2003. 18 p. (Embrapa Trigo. Circular Técnica Online; 14). Disponível em
<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p_ci14.pdf>. Acessado em: 15 set. 2009 .

ROSSATO, R. R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo Forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob Plantio direto**. 2004, 130f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In.: CNPT-EMBRAPA, FUNDACEP-FECOTRIGO, FUNDAÇÃO ABC. **Plantio Direto no Brasil**. Passo Fundo: Aldeia Norte, p. 37-60, 1993.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em áreas severamente erodidas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, 22:115-122, 1998.

SANTI, L. A. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. Santa Maria, 2005, 175f, Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

SILVA, F. A. S. **ASSISTAT Versão 7.5 beta**. 2008. Disponível em: <<http://assistat.com.br>>. Acesso em: 12 Dez. 2009.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho- Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, 27:1013- 1020, 2003.

SINGH, B. et al. Chlorophyll meter and leaf color chart based nitrogen management for rice and wheat in northwestern India. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 4, p. 821-829, 2002.

STARA. **Stara S/A Indústria de Implementos Agrícolas**. Disponível em: <<http://www.stara.com.br/web>>. Acessado em: 15 dez. de 2009.

TURNER, F. T.; JUND, M. F. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, n. 5, p. 926-928, 1991.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.

WASKOM, R. M. et al. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, n. 3, p. 545-560, 1996.

YARA. YARA International ASA. **Manual do Yara N-Sensor**. Versão 3.0. Research Center Hanninghof, Duermen, Alemanha. 2008.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, p. 415-421, 1974.

SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Investigar até qual estágio de desenvolvimento é possível utilizar o N-Sensor na cultura do milho e do trigo, uma vez que o desenvolvimento de novas máquinas proporciona o manejo tardio, mesmo com plantas de estatura elevada.

Pesquisar o estágio de desenvolvimento mais apropriado para realizar as aplicações À TAXA VARIADA utilizando o N-Sensor, para as culturas do milho e trigo, em condições de cultivo do Sul do Brasil.

Aumentar o número de investigações com aplicação à taxa variada de fertilizante nitrogenado com uso do N-Sensor, em áreas comerciais.

ANEXOS

ANEXO A - Dados pluviométricos durante os meses de cultivo do milho, safra 2008/2009, entre SET/2008 e MAR/2009 em Tio Hugo, RS.

DATA	ANO 2008			ANO 2009			
	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR
1		72	5				30
2			80	7		7	10
3					30	13	
4	25*	2					
5		20	18				
6	56		3				
7	3						
8	3						
9			19	18	16		
10					14	8	
11	31	20	33			15	
12	3						
13		21					
14		40		20			
15		33					
16		3				15	
17		6			42		
18					4	15	
19						24	
20	10						
21						33	
22		20				3	
23		28		6		19	
24				40		6	
25		105					
26		70					
27							
28				43	25		
29	15					-	
30						-	
31	-		-			-	
TOTAL	146	440	168	134	131	158	40
MÉDIA	4,86	14,19	5,60	4,32	4,22	5,64	1,29

*= Dados cedidos pela COTRIJAL, Unidade de recebimento de grãos de Tio Hugo, RS.

ANEXO B - Dados pluviométricos durante os meses de cultivo do milho, safra 2008/2009, entre DEZ/2008 e ABR/2009 em Cruz Alta, RS.

DATA	ANO 2008		ANO 2009		
	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR
1			0.2		
2	9.8*	2.8	0.2	0.2	
3		4.4	0.2	0.2	
4			0.2	0.2	0.4
5				0.6	0.5
6				0.4	
7					
8		4.2		0.2	0.2
9	4	1.8	0.2		
10		14	1.6		
11		32	17		
12				0.2	
13		32.6		0.2	
14	46.2			0.6	
15	0.2				
16		29.6	0.6		
17		0.2		0.2	
18		15	26.2		
19		1.2	4.2		3.4
20			0.2		0.6
21			4.2		
22	1		0.6		
23			0.2		0.2
24	31.6		0.2		0.2
25		0.2			
26			0.2	1.4	
27				5.6	
28	2.4	3.2			
29		1.4	-		
30		0.4	-		
31		1.2	-		-
TOTAL	95.2	144.2	56.2	10	5.6
MEDIA	3.07	4.65	2.00	0.32	0.18

*= Dados cedidos pela FUNDACEP- CCGL, Cruz Alta, RS.

ANEXO C- Escala fenológica de trigo (ZADOKS) utilizadas pelo N-Sensor.

Escala Feeks	Escala Zadoks	Descrição Geral
Estádio de Perfilhamento		
2	21	1º perfilho
	22	2º perfilho
	23	3º perfilho
	24	4º perfilho
	25	5º perfilho
3	26	6º perfilho
	27	7º perfilho
	28	8º perfilho
	29	9º perfilho
Estádio de Elongação		
4-5	30	Ereção do Pseudocaule
6	31	1º nó visível
7	32	2º nó visível
	33	3º nó visível
	34	4º nó visível
	35	5º nó visível
	36	6º nó visível
	37	7º nó visível
8	38	Folha bandeira visível
9	39	Lígula da folha bandeira

* = Adaptado do Manual do N-Sensor. Yara (2008).