

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Manejo e
Conservação do Solo e da Água



DISSERTAÇÃO

EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO PELAS CULTIVARES DE ARROZ
IRGA 417 E IRGA 424

Gil Cunegatto Marques Neto

Pelotas, 2014

Gil Cunegatto Marques Neto

**EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO PELAS CULTIVARES DE
ARROZ IRGA 417 E IRGA 424**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em ciência.

Orientador: Prof. Ledemar Carlos Vahl
Coorientador: Prof. Rogério Oliveira de Sousa

Pelotas, 2014

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M357e Marques Neto, Gil Cunegatto

Eficiência de utilização de nitrogênio pelas cultivares de arroz IRGA 417 e IRGA 424. / Gil Cunegatto Marques Neto ; Ledemar Carlos Vahl, orientador ; Rogério Oliveira de Sousa, coorientador. — Pelotas, 2014.

81 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2014.

1. Arroz. 2. Nitrogênio. 3. Curva de crescimento. 4. Marcha de absorção. 5. IRGA 417; IRGA 424. I. Vahl, Ledemar Carlos, orient. II. Sousa, Rogério Oliveira de, coorient. III. Título.

CDD : 633.18

Dedico este trabalho ao meu Filho Antonio Gil Mafaldo Marques e
Minhas Avós Lucia Rigo Marques e Maria Josephina de Lurdes Quattrini Lopes.

Agradecimentos

A DEUS

À Família pelo apoio, principalmente a minha esposa Camilla Fagundes Mafaldo.

Ao Orientador professor Ledemar Carlos Vahl

À Técnica química Rosane Maria Morales Guidotti

Ao PPG MACSA

À CAPES

“Em tempos difíceis saía tão cedo e voltava tão tarde que quase encontrava comigo mesmo no caminho.”

Rodrigo Santiago

RESUMO

MARQUES NETO, Gil Cunegatto. **Eficiência de Utilização de Nitrogênio pelas Cultivares de Arroz IRGA 417 e IRGA 424**. 2014. 70f. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

A resposta à adubação nitrogenada é influenciada por diversos fatores, o que torna sua investigação complexa. Para um estudo mais detalhado da resposta, uma alternativa é investigar o crescimento e a absorção de nitrogênio em diferentes níveis de disponibilidade. A hipótese do presente trabalho é de que para atender uma maior exigência de N pela planta devido ao maior rendimento potencial não é necessário aplicar maior dose de adubo nitrogenado. O objetivo do estudo foi analisar o efeito do potencial de produtividade de cultivares de arroz na resposta ao Nitrogênio. Foi instalado um experimento a campo no município Manoel Viana-RS, sendo que os fatores de tratamento avaliados foram Cultivar, com os níveis IRGA 424 e IRGA 417, e Doses de Nitrogênio, com níveis zero (0) e quinze (15 g m^{-2}) gramas de nitrogênio por metro quadrado. Foram realizadas coletas da parte aérea a cada 15 dias, totalizando 10 coletas na cultivar IRGA 424 e 8 na IRGA 417, a partir das quais foi determinada massa da matéria seca, o teor de nitrogênio e o índice de área foliar. Também foi realizada uma coleta de raiz no período de floração, e no fim do ciclo foi avaliada a produtividade. Foram analisadas as curvas de crescimento, marcha de absorção, teor de nitrogênio e índice de área foliar ao longo do tempo, área de raiz e produtividade. Os resultados mostraram que a IRGA 424 tem um maior potencial de explorar o ambiente quando comparada a IRGA 417, tanto por maior área foliar e área de raiz por área de cultivo, quanto pelo maior tempo de exploração. A partir dos resultados pode-se concluir, que a cultivar IRGA 424 não necessita de uma maior quantidade de adubação nitrogenada para atingir um maior potencial produtivo quando comparada a IRGA 417.

Palavras-chave: Arroz; Nitrogênio; Curva de Crescimento; Marcha de Absorção; IRGA 417; IRGA 424.

ABSTRACT

Several factors may influence the response to nitrogen fertilization, which is the reason why its investigation is so complex. In order to perform a more detailed study of this response, an alternative is to investigate growth and nitrogen uptake in different levels of availability. The hypothesis of this study is that the application of nitrogen fertilizer at higher rates is not necessary to supply a greater demand for N by the plant due to higher income potential. This study aimed to compare the response, to analyze growth characteristics, to compare the absorption rate and to analyze the accumulation of dry matter and nitrogen in the panicle of two rice cultivars with different cycles and productivity, in two different nitrogen supply conditions: deficient and a sufficient. The field experiment was installed in Manoel Viana-RS, and the evaluated treatment factors were variety, with IRGA 424 and IRGA 417, and nitrogen RATES, with levels zero (0) and fifteen (15 g m^{-2}) grams of nitrogen per square meter. Every 15 days, collections of the shoots were performed, totaling 10 samples in IRGA 424 and eight in IRGA 417, from which was determined dry matter weight, nitrogen content and leaf area index. A collection of roots in the flowering period was also performed, and, at the end of the cycle, productivity was assessed. Growth curves, absorption rate, nitrogen content and leaf area index over time, root area and yield were analyzed. The results showed that IRGA 424 has a greater potential to explore the environment when compared to IRGA 417, both by greater leaf area and root area by area of cultivation, well as by longer period of exploration. From the results it can be concluded that IRGA 424 does not require a greater amount of nitrogen fertilizer to achieve a higher yield potential compared to IRGA 417.

Lista de Figuras

Figura 1: Radiação do período de setembro a dezembro de 2012 (a) e de janeiro a abril de 2013 (b), obtidas da estação automática de Alegrete (Estação: A826) INMET (2014).	19
Figura 2: Temperatura do período de setembro a dezembro de 2012 (a) e de janeiro a abril de 2013 (b), obtidas da estação automática de Alegrete (Estação: A826) INMET (2014).	20
Figura 3: Precipitação do período de setembro a dezembro de 2012 (a) e de janeiro a abril de 2013 (B), obtidas da estação automática de Alegrete (Estação: A826) INMET (2014).	21
Figura 4: Foto da área experimental, em primeiro plano a parcela da cultivar IRGA 417 com aplicação de 15 g m ⁻² de N e em segundo plano à esquerda a mesma cultivar sem aplicação de N.	23
Figura 5: Demonstração da variação dos parâmetros utilizados no ajuste da equação.....	27
Figura 6: Demonstração da variação dos parâmetros utilizados no ajuste da equação ($f = axb$) que descrevem a diluição do Nitrogênio.	29
Figura 7: Produtividade em grãos das cultivares IRGA 424 e IRGA 417 submetidas a dois níveis de adubação nitrogenada zero e 15 g m ⁻² de N.	31
Figura 8: Variação Temporal do índice de área foliar (IAF) para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m ⁻² (○).	33
Figura 9: Relação entre as cultivares IRGA 424 e IRGA 417 submetidas a dois níveis de adubação nitrogenada (0 e 15 g m ⁻² de N) e a área de superfície de raiz por volume de solo.....	34
Figura 10: Variação temporal da Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m ⁻² (○).....	36
Figura 11: Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) para as cultivares IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) e Taxa de Crescimento Relativo (TCR) para ambas cultivares (c) submetidas a dois níveis de nitrogênio zero e 15 g m ⁻² , em relação ao tempo.....	39

- Figura 12: Variação temporal a Matéria Seca da Panícula (MSP), para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m^{-2} (○). 42
- Figura 13: Variação temporal da Taxa de Crescimento Absoluto da Panícula, para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m^{-2} (○). 45
- Figura 14: Variação do Nitrogênio Acumulado Total (NAT) durante o ciclo das cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m^{-2} (○). 48
- Figura 15: Taxa de Absorção Absoluta e Taxa de Utilização Efetiva (c) para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m^{-2} (○). 50
- Figura 16: Relação entre o nitrogênio acumulado na panícula e o tempo, para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m^{-2} (○). 53
- Figura 17: Variação temporal do teor de nitrogênio da parte aérea total, para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m^{-2} (○). 55

Lista de Tabelas

Tabela 1: Recomendação de adubação nitrogenada para o Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 1991).	15
Tabela 2: Recomendação de adubação nitrogenada para arroz irrigado em sistema de semeadura em solo seco (SOSBAI, 2003).	16
Tabela 3: Recomendação de adubação nitrogenada para arroz irrigado em sistema de semeadura em solo seco (SOSBAI, 2005).	16
Tabela 4: Recomendação de adubação nitrogenada para arroz irrigado, considerando a expectativa de resposta à adubação (SOSBAI, 2012).	17
Tabela 5: Resultado da análise de solo Realizada antes da instalação do Experimento.	22
Tabela 6: Produtividade de grãos (Prod.), Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA), Nitrogênio Acumulado Total (NAT), Recuperação Aparente de Nitrogênio (RAN), Eficiência de Utilização de Nitrogênio (EUN), Eficiência Fisiológica de Utilização de Nitrogênio (EFUN), e Eficiência Agronômica de Utilização de Nitrogênio (EAUN) para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 e IRGA 417 submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero e 15 g m ⁻² . Os Valores de MSPA, NAT, N%, RAN, EUN e EFUN foram estimados na maturação fisiológica a partir dos modelos previamente ajustados.	49

Lista de Equações

Equação (1): $f = a/(1 + \exp(-(x - x_0)/b))$	25
Equação (2): $TCA = \frac{dM}{dT}$	26
Equação (3): $TCR = \frac{TCA}{MSPA}$	26
Equação (4): $TAA = \frac{dMN}{dT}$	26
Equação (5): $TUE = \frac{TCA}{NAT}$	26
Equação (6): $RAN = \frac{MN_{15}-MN_0}{D_{15}}$	40
Equação (7): $EUN = \frac{MSPA}{NAT}$	40
Equação (8): $EFUN = \frac{P}{NAT}$	40
Equação (9): $EAUN = \frac{P_{15}-P_0}{D_{15}}$	40
Equação (10): $f = ax^b$	40

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Identificação do problema e hipótese	1
1.2	Objetivos	3
2	Revisão Bibliográfica	4
2.1	Importância do Nitrogênio na Cultura do Arroz Irrigado	4
2.1.1	Fisiologia	5
2.1.2	Exigências Nutricionais de Nitrogênio	6
2.2	Resposta ao Nitrogênio Aplicado	7
2.2.1	Relação da Cultivar com a resposta ao Nitrogênio Aplicado	9
2.3	Dinâmica do N no solo	12
2.4	Evolução das Recomendações de Nitrogênio para Arroz Irrigado no Rio Grande do Sul	14
3	Material e Métodos	18
4	Resultados e discussão	30
4.1	Resposta das cultivares IRGA 424 e IRGA 417 a dois níveis de adubação nitrogenada	30
4.1.1	Produtividade	30
4.1.2	Biomassa.....	35
4.1.3	Nitrogênio Absorvido	46
4.1.4	Teor de Nitrogênio na parte aérea	54
5	Conclusão	56
6	Bibliografia	57
	Apêndices	65

1 INTRODUÇÃO

1.1 Identificação do problema e hipótese

O sistema de cultivo de arroz irrigado por inundação na região sul do Brasil, é o sistema de produção de arroz mais tecnificado do país. O rendimento da cultura tem aumentado de forma consistente, especialmente na última década. No Rio Grande do Sul o rendimento médio da cultura ultrapassou $7,264 \text{ Mg ha}^{-1}$ nas últimas cinco safras (CONAB, 2014). Tal aumento decorre do uso de cultivares com alto potencial genético e de avanços técnicos no manejo da cultura, principalmente quanto à irrigação, adubação, época e densidade de semeadura e controle de plantas daninhas (SOSBAI, 2012).

Entre os fatores de produção, a nutrição mineral das plantas tem lugar de destaque. As doses de fertilizantes com nitrogênio, fósforo e potássio aumentaram ao longo do tempo de forma proporcional ao rendimento de grãos. Enquanto as doses máximas recomendadas na década de 1990 eram de 90, 60 e 60 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O (COMISSÃO, 1995), as máximas recomendações atuais são de 150, 70 e 105 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente (SOSBAI, 2012). Embora seja afirmado que, na média, tais doses de fertilizantes tenham retorno econômico aos preços atuais (SOSBAI, 2012), é possível que em muitos casos as altas doses sejam usadas muito mais como garantia de obtenção de alto rendimento do que por real necessidade da cultura. Ou seja, em muitos casos é possível que os altos rendimentos possam ser obtidos com doses de fertilizantes menores do que as atualmente recomendadas.

As recomendações de adubação são estabelecidas a partir da interpretação conjunta dos resultados de experimentos de campo realizados pelas instituições de pesquisa que atuam na região e publicadas em boletins revisados periodicamente como os da Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI). Os experimentos são realizados seguindo critérios científicos adequados, mas contemplam apenas doses e épocas de aplicação de fertilizantes cujos efeitos são

medidos somente através do rendimento de grãos no final do ciclo da cultura. Os dados de tais experimentos foram muito úteis para elaborar recomendações gerais de adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, mas não servem ao propósito de particularizar a recomendação para uma lavoura de uma região do Estado, numa safra específica e com uma cultivar específica. Para chegar neste nível de especificação é necessário conhecimento mais aprofundado das exigências nutricionais ao longo do ciclo da cultura e sua interação com outros fatores de produção.

No Rio Grande do Sul são bem definidas seis regiões orizícolas em função das variáveis climáticas predominantes em cada uma (KLERING, *et al.*, 2008) com potenciais de rendimentos diferentes. Além disso, as cultivares em uso possuem potenciais genéticos diferentes (SOSBAI, 2005). Logo, a exigência quantitativa de N para que a cultura atinja seu máximo rendimento em cada lavoura deve variar entre cultivares e entre regiões climáticas. Do ponto de vista da prática de adubação isto remete à seguinte questão: - **para atender uma maior exigência de N pela planta devido ao maior rendimento potencial é necessário aplicar maior dose de adubo nitrogenado?** Como hipótese, a resposta é não. Quando uma planta cresce mais, seja devido ao seu potencial genético ou a condições ambientais mais adequadas, a capacidade de aquisição de nutriente do solo pela planta aumenta proporcionalmente. Isto ocorre porque a fração de nutriente disponível no solo, nativo ou do fertilizante, que as raízes de fato entram em contato é muito pequena em função do pequeno volume do sistema radicular em relação ao volume de solo que ele explora (BARBER, 1995). Ou seja, o aumento do sistema radicular em decorrência do aumento do crescimento da planta por si só já compensa a necessidade de absorção adicional. Experimentalmente esta comparação é difícil de fazer entre regiões ou mesmo entre locais diferentes dentro de uma região porque as diferenças entre solos podem mascarar os resultados. Num mesmo local, comparando cultivares com potenciais genéticos diferentes a hipótese pode ser testada. Neste caso, a hipótese de trabalho é que a cultivar de maior potencial terá maior rendimento em qualquer nível de adubação

nitrogenada, ou seja, não é necessário aumentar a dose de adubo nitrogenado para que uma cultivar de maior potencial de rendimento alcance este potencial.

O embasamento teórico para justificar as eventuais diferenças de rendimento entre cultivares, bem como o efeito do nitrogênio no rendimento, pode ser buscado a partir da análise do crescimento dos diferentes órgãos e da absorção e distribuição do nitrogênio entre os órgãos da planta ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, em condições de suprimento de nitrogênio deficiente e suficiente.

1.2 Objetivos

1. Analisar o efeito do potencial de produtividade de cultivares de arroz na resposta ao Nitrogênio;

2. Comparar a curva de crescimento de duas cultivares de arroz de potenciais produtivos diferentes em condições de suprimento de nitrogênio deficiente e suficiente;

3. Comparar a marcha de absorção de nitrogênio entre duas cultivares de arroz de potenciais produtivos diferentes em condições de suprimento de nitrogênio deficiente e suficiente;

4. Analisar a acumulação de matéria seca e nitrogênio na panícula de duas cultivares de arroz de potenciais produtivos diferentes ao longo do ciclo submetidas ao suprimento de nitrogênio deficiente e suficiente;

5. Analisar as características de crescimento de duas cultivares de arroz de potenciais produtivos diferentes em condições de suprimento de nitrogênio deficiente e suficiente;

2 Revisão Bibliográfica

A meta da pesquisa agropecuária vem sendo o aumento da produtividade, buscando a diluição dos custos para obtenção de um melhor resultado econômico. Mais recentemente os pesquisadores também vêm apresentando maior interesse no cuidado com o ambiente, buscando meios de produção que não afetem o ambiente em que estão inseridos e que se mantenham sustentáveis. A pesquisa em adubação de plantas se insere neste contexto, assim deve-se buscar recomendações que garantam altas produtividades evitando excessos. Tendo em vista este contexto esta revisão bibliográfica aborda a importância do Nitrogênio na produção de Arroz.

2.1 Importância do Nitrogênio na Cultura do Arroz Irrigado

O crescimento e o desenvolvimento das plantas são afetados pelos níveis de nutrientes contidos em seus tecidos, tanto pela falta quanto pelo excesso de nutrientes. A baixa concentração de um nutriente essencial no tecido vegetal reduz o crescimento das plantas, pela falta do mesmo para utilização nas rotas metabólicas necessárias para o crescimento, enquanto o excesso de um elemento qualquer no tecido vegetal causa toxidez reduzindo o crescimento da planta. Já o excesso de um nutriente pode causar alterações fisiológicas indesejáveis.

Na cultura do arroz irrigado por alagamento o nitrogênio se destaca por ser o nutriente que mais promove o crescimento. Isto se deve ao fato do nitrogênio ser o elemento mais limitante para a cultura. Embora todos os macro e micronutrientes sejam importantes para o crescimento das plantas, o nitrogênio é o nutriente mineral mais limitante do rendimento da cultura do arroz irrigado por alagamento na maioria das regiões produtoras deste cereal no mundo (SHEEHY, *et al.*, 1998) (WITT, *et al.*, 1999). Na região sul do Brasil, também é o nutriente mais limitante para a cultura não só em solos minerais (VAHL, 1982) como

também em solos orgânicos (KNOBLAUCH, 1994). É também o nutriente mineral com conexão mais direta com o processo fisiológico de produção da cultura (YOSHIDA e HORIE, 2009). Em função disso, o aprofundamento do conhecimento da exigência nutricional da cultura deve começar por este nutriente.

2.1.1 Fisiologia

O nitrogênio é um dos elementos minerais requerido em maior quantidade pelas plantas e que mais limita seu crescimento (SBCS, 2006). Faz parte de proteínas, ácidos nucleicos entre outros constituintes celulares importantes como membranas e diversos hormônios vegetais.

Murata (1969) coloca o nitrogênio como um dos constituintes mais importantes da proteína, exercendo influência marcante na síntese de proteínas e no metabolismo dos carboidratos. Epstein (1975) relata que o nitrogênio é um dos constituintes dos aminoácidos, nucleotídeos e das coenzimas. Por estes motivos o crescimento das plantas é influenciado pela quantidade de nitrogênio disponível. Ao promover o crescimento o nitrogênio aumenta a capacidade da planta explorar os recursos do meio. Através do crescimento das folhas ocorre o aumento da área foliar, assim a interceptação de luz é maior, e por tanto a produção de fotoassimilados, que por sua vez são utilizados no crescimento. Através do crescimento das raízes ocorre o aumento do volume de solo explorado, e por tanto a capacidade de absorção de nutrientes pela planta.

Por outro lado o excesso de crescimento vegetativo que o nitrogênio pode causar é prejudicial para as plantas. O crescimento excessivo dos colmos pode causar acamamento, comprometendo a produção da cultura. O crescimento excessivo de folhas também é prejudicial, pois ocorre o sombreamento das folhas inferiores, estas realizam menos fotossíntese e continuam respirando normalmente, diminuindo a fotossíntese líquida. Segundo Yoshida (1981) o índice de área foliar (IAF) pode chegar a 10, mas a fotossíntese máxima é atingida com um IAF entre 5 e 6. Desta forma podemos considerar que existe um IAF Crítico

para atingir uma máxima produtividade, desta forma o IAF ideal deve ser maior que 5 e não ultrapassar 6.

Além de estar envolvido no crescimento, o nitrogênio está diretamente relacionado com a fotossíntese. Como mostra Morita e Kono (1975) apud. Matsuo, (1995), em uma folha madura 75 a 85% do total de nitrogênio existente está nos cloroplastos. Também foi reportado por Matsuo (1995) que entre 25 e 30% do nitrogênio total da folha está na enzima RuBisCO. Este mesmo autor afirma que aproximadamente 80% do nitrogênio total está diretamente relacionado com a fotossíntese. O exposto acima mostra a importância do nitrogênio na fotossíntese, a qual a fotossíntese é dependente da quantidade de nitrogênio que de fato chega às folhas. Quando ocorre falta de N nas folhas diminui a quantidade de cloroplastos, por isso o primeiro sintoma de deficiência do nitrogênio é o amarelecimento das folhas.

2.1.2 Exigências Nutricionais de Nitrogênio

A quantidade de nitrogênio exigida pela cultura é o produto entre a biomassa da parte aérea (palha + grãos) produzida por unidade de área, e a concentração de N na biomassa.

A concentração de N na biomassa necessária para a cultura atingir o máximo rendimento não depende da cultivar nem do ambiente climático, como depreende-se ao comparar os dados de Witt, *et al.* (1999) na Ásia, Fageria e Prabhu (2004) no Brasil Central e Mueller (1980) no sul do Rio Grande do Sul. Embora os rendimentos máximos de grãos atingidos nos experimentos destes autores tenham variado de 5,8 a 10,0 Mg ha⁻¹, a concentração de N na biomassa da parte aérea no final do ciclo variou apenas de 12,1 a 12,3 g kg⁻¹. Logo, a exigência quantitativa de N para que a planta atinja o máximo rendimento aumenta linearmente com o aumento do rendimento potencial, independentemente deste potencial ser limitado por fatores climáticos, genéticos ou qualquer outro fator. O trabalho de Wadt, *et al.* (2012) apresenta esta tendência, onde o teor de N na

folha bandeira, encontrado em 389 lavouras de todas as regiões orizícolas do Rio Grande do Sul, foi de 2,4 a 2,6% e 2,5 a 2,6% de N para lavouras de alta e baixa produtividade respectivamente. Este trabalho mostra que o teor de N não difere entre lavouras de alta e baixa produtividade, portanto pressupõe-se que a exigência quantitativa de N aumente linearmente com a produção de biomassa.

2.2 Resposta ao Nitrogênio Aplicado

Há muito tempo é conhecido o efeito da adubação nitrogenada no aumento da produtividade de grãos bem como as causas fisiológicas disto. Porém no caso do arroz irrigado no Rio Grande do Sul, as primeiras pesquisas conduzidas com doses deste nutriente não obtinham grandes aumentos na produtividade em relação aos resultados obtidos fora do Brasil. De acordo com a revisão feita por Mueller (1980) no Rio Grande do Sul não se verificava resposta positiva a altas doses de N como as constatadas nos EUA e nas Filipinas, relatando a resposta máxima obtida nos EUA de 303 Kg ha⁻¹ e no Brasil de 120 Kg ha⁻¹, sendo comum a doses de maior rendimento estar entre 30 e 60 Kg ha⁻¹ de N. Além de se obter baixas respostas, muitas vezes não era encontrada diferença significativa entre os tratamentos com N e a testemunha como ocorreu em Lopes, S. I. G., *et. al.* (1996).

Esta variabilidade na resposta é ocasionada pela interação de vários fatores os quais são: suprimento de nitrogênio e outros nutrientes do solo; tipo de planta; época e densidade de semeadura; controle de plantas daninhas; estado fitossanitário; sequencias de culturas; fontes, doses e épocas de aplicação de adubação nitrogenada; e condições climáticas particularmente temperatura e radiação solar (EMBRAPA, 2004). Em anos de radiação solar e temperaturas mais elevadas, favoráveis ao rendimento de grãos, as respostas ao nitrogênio são melhores, para qualquer tipo de planta (Vahl, 1979; Lopes, S. I. G., *et. al.*, 2000; Machado, *et. al.*, 1999). De modo que em anos e locais com boas condições para produção as repostas à aplicação de N são maiores. Porém quando não se encontra resposta à aplicação de N significa que existe outro fator mais limitante a

produção do que a deficiência deste nutriente. A época de semeadura como relatada por Freitas, *et al.* (2008) e a competição com plantas daninhas, como o arroz vermelho observado em Lopes, S. I. G., *et al.* (2000) são os principais fatores que limitam a produtividade e por isso interferem na resposta ao N.

Mais recentemente a experimentação tem achado respostas mais consistentes à aplicação de nitrogênio em arroz irrigado no Brasil. Lopes S. I. G.; Lopes M. S. (1996), encontraram um aumento significativo de forma linear até a dose de 140 Kg ha⁻¹ de N, com um acréscimo de 11,8 Kg ha⁻¹ de grão por unidade de N aplicada, para a cultivar IRGA 416. Lopes, S. I. G., *et al.* (2000), encontraram uma resposta linear significativa até a dose de 150 Kg ha⁻¹ de N com um acréscimo de 9,99 Kg ha⁻¹ de grão por unidade de N aplicada, para cinco linhagens e três cultivares. Mariot, *et al.* (2003), também obtiveram resposta até a dose de 120 Kg ha⁻¹ de N. Reis, *et al.* (2005) obteve resposta quadrática até a dose de 800 mg Kg⁻¹ de N. Todos os trabalhos acima citados obtiveram a maior produtividade na dose mais alta.

Na literatura internacional a produtividade máxima vem sendo obtida com doses em torno de 150 Kg ha⁻¹, como podemos observar nos trabalhos citados na sequência, apesar da variabilidade da resposta ao N. Sheehy, *et al.* (1998) apresentou resultados de aplicação entre 0 e 400 Kg ha⁻¹ de N em vários locais, sendo que as maiores produtividades foram de 15,2 Mg ha⁻¹ na China com 260 Kg ha⁻¹ de N e de 14 Mg ha⁻¹ com a dose de 160 Kg ha⁻¹ de N na Austrália. Lin, *et al.* (2009) na China obteve resposta até 180 e 200 Kg ha⁻¹ de N de pendendo do sistema de cultivo adotado, com produtividades correspondentes de 9,9 Mg ha⁻¹ e 7,9 Mg ha⁻¹ respectivamente. Wang, *et al.* (2012), na China estudou uma faixa de aplicação entre 0 e 410 Kg ha⁻¹ de N e obteve acréscimo na produtividade somente até 120 Kg ha⁻¹ de N.

Atualmente as resposta à aplicação de N obtidas no Brasil não diferem muito das obtidas em outros países, em geral as doses para obtenção de altas produtividades não ultrapassam ou são pouco superiores a 150 Kg ha⁻¹ de N. Lopes, S. I. G., *et al.* (2000), no Rio Grande do Sul encontraram um aumento significativo na produtividade com o acréscimo nas doses de N entre 0 e 150 Kg

ha⁻¹, dentre as cultivares e linhagens apresentadas apenas uma cultivar apresentou a maior produtividade no tratamento com a maior dose de N. Fageria, Santos e Cutrim (2007) em Goiás obtiveram uma resposta quadrática na faixa de 0 a 200 Kg ha⁻¹ de N, com dose necessária para obtenção de 90% da produtividade máxima, considerada como dose econômica, atendida com 136 kg ha⁻¹ de N. No estudo de Lopes, M. B. S. *et. al.* (2013) no Tocantins as duas cultivares estudadas responderam a adubação nitrogenada atingindo sua máxima produção na dose de 105 e 120 kg ha⁻¹ de N. Schoenfeld, *et. al.* (2013) em Cachoeirinha e Cachoeira do Sul no estado do Rio Grande do Sul, obtiveram as máximas produtividades com doses entre 120 e 150 Kg ha⁻¹ de N. Ao analisar os dados de Rodrigues, *et. al.* (2013) e Rodrigues, *et. al.* (2013) produzidos no mesmo estado na cidade de Itaquí, observa-se que não houve acréscimo da dose de 160 para a dose de 320 Kg ha⁻¹ de N.

2.2.1 Relação da Cultivar com a resposta ao Nitrogênio Aplicado

Um dos fatores que mais afetam a resposta do arroz irrigado à adubação nitrogenada é a cultivar que está sendo usada. A mudança mais drástica que ocorreu referente à resposta ao N foi a mudança da utilização de cultivares tradicionais para cultivares modernas. Segundo a revisão feita por Mueller (1980) na década de 60 o International Rice Research Institute (IRRI) promoveu uma mudança drástica na arquitetura da planta revolucionando a produção deste cereal no mundo. Este mesmo autor afirma que antes da planta de arroz ser melhorada para ter porte baixo (um metro ou menos), folhas eretas, caules vigorosos, relação grão palha em torno de 1:1, continuar absorvendo N após a floração, entre outras características, apenas as cultivares japônicas eram tidas como cultivares de alta resposta ao nitrogênio.

Entre as cultivares tidas como modernas também existem diferenças referentes à resposta ao nitrogênio. Existem cultivares modernas que podem não responder as aplicações de N, mesmo quando cultivadas em ambiente e local que

proporcionou resposta a outras cultivares. Este comportamento pode ser notado em Lopes, S. I. G.; Lopes, M. S. (1996) que encontraram resposta ao nitrogênio na produtividade apenas para uma das duas cultivares que estavam sendo observadas. Mesmo apresentando uma produtividade menor que a cultivar COLOMBIANO, a cultivar IRGA 416 apresentou acréscimo no número de panículas e na produtividade enquanto a COLOMBIANO teve acréscimo apenas no número de panículas. A resposta à aplicação de N também pode diferir quanto forma da função que descreve a resposta, Freitas, *et. al.* (2008) ao estudarem três cultivares obtiveram resposta na produtividade até a dose de 150 Kg de N por hectare sendo que uma das cultivares teve resposta linear e as outras duas tiveram resposta quadrática. A cultivar que apresentou resposta linear provavelmente não atingiu seu máximo potencial produtivo. E ainda, as cultivares podem diferir quanto à quantidade de nitrogênio necessária para atingir seu máximo potencial produtivo como ocorreu com Reis, *et. al.* (2005) ao observarem três cultivares obtiveram resposta quadrática para as três, porém encontraram diferença na dose para obtenção da máxima produtividade, sendo que a cultivar Capivari não atingiu o máximo rendimento nem na maior dose de 800 mg de N Kg⁻¹ de solo, para a obtenção do rendimento máximo de grãos para as cultivares Inca e Sapucaí foram estimadas respectivamente as doses de 746 e 584 mg de N Kg⁻¹ de solo. Schoenfeld, *et. al.* (2013), estudou a diferença de resposta a níveis de adubação nas cultivares PUITÃ INTA-CL e GURI INTA-CL, onde a resposta teve forma quadrática, e a cultivar GURI INTA-CL foi sempre mais produtiva e manteve a mesma diferença de produtividade em todos os níveis de adubação. Analisando o exposto acima é difícil chegar a uma conclusão satisfatória sobre a melhor dose a ser utilizada. Mas pode-se afirmar que as cultivares respondem de forma diferente as diferentes doses de N.

A cultivar IRGA 417 utilizada no presente estudo apresenta variação na resposta ao nitrogênio aplicado em relação ao ambiente em que é cultivada. Como pode-se notar no estudo realizado por Lopes, S. I. G., *et. al.* (2000) que observaram resposta ao nitrogênio em quatro linhagens e quatro cultivares, os materiais diferem em relação à resposta ao N, entre os materiais apresentados

podemos notar que alguns materiais não apresentaram resposta, outros apresentaram resposta média, poucos apresentaram resposta alta, a cultivar IRGA 417 em Uruguaiana excepcionalmente apresentou a maior produtividade na testemunha (9935 Kg ha^{-1}), porém em Cachoeirinha a maior produtividade obtida foi na dose de 100 Kg ha^{-1} de N (6295 Kg ha^{-1}). Lopes, M. B. S., *et. al.* (2013) ao compararem as cultivares IRGA 424 e EPAGRI 116, obtiveram resposta e produtividades semelhantes, com a IRGA 424 pouco mais produtiva, sendo que a resposta até a dose de 125 Kg ha^{-1} de N foi quadrática e a maior produtividade foi atingida na dose de 100 Kg ha^{-1} de N. Ao se comparar a cultivar BR-IRGA 410, que foi uma das cultivares que deram origem a cultivar IRGA 424, com a IRGA 417 nota-se que esta cultivar aparenta responder a doses mais altas que a BR-IRGA 410. Como pode ser observado em Mariot, *et. al.* (2003) que obteve resposta linear positiva para cultivar IRGA 417 e quadrática para a BR-IRGA 410, com acréscimo até a dose de 120 Kg ha^{-1} de N, onde a BR-IRGA 410 teve uma produtividade maior e atingiu a produtividade máxima e a IRGA 417 não atingiu sua máxima produtividade nem na maior dose. Esta tendência também pode ser notada em Silva, Bohnen e Macedo (2007) que ao estudarem as mesmas cultivares encontraram respostas com a mesma tendência, na cultivar BR-IRGA 410 ocorreu decréscimo da produtividade com o aumento da dose de N e a cultivar IRGA 417 teve uma resposta quadrática com acréscimo estimado até o nível de 120 Kg ha^{-1} de N. Passos, Silva e Fidelis (2012) ao estudarem a adubação nitrogenada em quinze cultivares no Tocantins, obtiveram grande variação das respostas ao N entre as cultivares, e classificaram a cultivar IRGA 417 como de baixa eficiência e de baixa resposta e a IRGA 424 como de alta eficiência e alta resposta a aplicação de N. Apesar da variabilidade nas respostas ao N pode-se notar que a cultivar IRGA 424 responde mais ao N atingindo alta produtividade com doses normais de N, enquanto a cultivar IRGA 417 responde menos a doses normais de N.

2.3 Dinâmica do N no solo

Quando se trata da origem de nitrogênio no solo a principal fonte é a matéria orgânica, pois a contribuição da fração mineral do solo com este elemento é baixa, já que o material de origem geralmente tem muito pouco nitrogênio reativo. A acumulação de nitrogênio na matéria orgânica do solo ocorre principalmente através da fixação biológica, mas também pode ocorrer deposição atmosférica, desta forma o nitrogênio do solo vem principalmente do ar atmosférico que é composto por cerca de 80% de N na forma gasosa. De acordo com levantamento feito por Streck (2008), em média os solos do Rio Grande do Sul tem apenas 5% do N na forma mineral, o restante do N encontra-se em formas orgânicas com diferentes níveis de estabilidade. O nitrogênio mineral presente no solo pode estar em formas oxidadas (NO_3^- , HNO_3 , NO_x , N_2O) ou em formas reduzidas (NH_4^+ , $\uparrow\text{NH}_3$), em ambiente anaeróbico maior parte do N mineral está em formas reduzidas e em ambiente aeróbico a maior parte está em formas oxidadas como mostrado em Pcojeski (2011). Considerando que as principais formas absorvidas pelas plantas são minerais (NO_3^- e NH_4^+) TAIZ, L. *et. al.* (2009) e tem quantidade limitada no solo, então se pressupõem que a maior parte do N absorvido pelas plantas provêm da mineralização de formas orgânicas. Desta forma o suprimento de nitrogênio para as plantas fornecido pelo solo depende da quantidade de nitrogênio que é mineralizada, isto vai depender da quantidade de matéria orgânica do solo, do clima e do manejo da área. No estudo apresentado por Rhoden, *et. al.* (2006) a mineralização de nitrogênio nos solos do Rio Grande do Sul em ambiente anaeróbico variou entre 98 e 191 mg Kg^{-1} de solo, equivalente a 196 e 382 Kg ha^{-1} de N respectivamente, no período de 24 semanas de alagamento, sendo que a maior parte da mineralização ocorreu nas primeiras 15 semanas. Devido as formas de nitrogênio no solo serem muito móveis e o volume explorado pelas raízes ser limitado, nem todo o nitrogênio mineralizado vai ser absorvido pelas plantas, como observa-se em Rhoden, *et. al.* (2006) onde menos de um terço do N mineralizado foi recuperado nas plantas de arroz irrigado. Segundo resultados obtidos Pcojeski (2011) a mineralização de N varia conforme

o solo, sendo em geral maior em solos com mais matéria orgânica, também nota-se uma tendência da mineralização em condições anaeróbica ser maior em solos de várzea e em condições aeróbicas ser maior em solos de sequeiro. Quando ocorre a mineralização da matéria orgânica o nitrogênio pode ser mineralizado ou imobilizado pelos microrganismos do solo. Segundo Matsuo (1995) em ambiente aeróbico a relação C/N crítica é em torno de 25, abaixo desta o nitrogênio é mineralizado e acima é imobilizado, já em ambiente anaeróbico a relação C/N crítica é em torno de 100. Por este motivo raramente teremos imobilização de nitrogênio em ambiente alagado, já que substâncias orgânicas com relação C/N maior que 100 são de difícil decomposição, principalmente em ambiente anaeróbico.

Além do nitrogênio disponibilizado naturalmente pelo solo, em culturas anuais como o arroz irrigado este nutriente pode ser fornecido via adubação e em menor quantidade suprido por fixação biológica e pela água de irrigação. Quando o nitrogênio é fornecido através de adubação mineral deve-se levar em conta a forma que está sendo aplicado, devido ao fato do nitrogênio ser um elemento muito móvel no solo ele está muito suscetível a perdas. Então na cultura do arroz irrigado não se recomenda realizar adubações nitrogenadas com fontes nítricas, mas sim amídicas e amoniacais. Formas nítricas não devem ser usadas, pois na maior parte do tempo a cultura se mantém em ambiente alagado e o nitrato é o primeiro composto oxidado a ser utilizado como acceptor de elétrons causando a perda do N através da desnitrificação como descrito por Sousa, Camargo e Vahl (2010), onde o NO_3^- é reduzido até formas voláteis com N_2O e N_2 . Formas amídicas e amoniacais são recomendadas por serem mais estáveis em ambientes anaeróbicos, pois fontes amídicas (ureia) e amoniacais (sulfato de amônio) tem como produto nitrogênio na forma de amônio. O amônio é a forma mais estável de N em solos alagados (REDDY e DELAUNE, 2008). No Rio Grande do Sul a adubação nitrogenada de cobertura é feita quase que unicamente com ureia, sendo a primeira aplicação feita geralmente em solo seco com irrigação imediata, assim em casos de atraso da irrigação podem ocorrer perdas por volatilização da

amônia. A volatilização da amônia ocorre quando a ureia aplicada ao solo sofre quebra por hidrólise, catalisada pela enzima urease, formando amônio, esta reação tem caráter básico assim ocorre à elevação do pH em torno do grânulo de ureia transformando o amônio em amônia que é volátil como descrito em Vale (2011).

2.4 Evolução das Recomendações de Nitrogênio para Arroz Irrigado no Rio Grande do Sul

Neste item será apresentada a revisão sobre as alterações das recomendações nos últimos vinte e três anos para arroz irrigado no Rio Grande do Sul, buscando a contextualização das recomendações realizadas na região.

Neste parágrafo será exposta a recomendação do início da década de 1990 segundo EMBRAPA (1991) como base para o início da discussão. As recomendações da EMBRAPA (1991) resultam da análise de um grande número de experimentos em casa de vegetação e no campo, baseando-se fundamentalmente na análise de solo como instrumento básico para determinar a quantidade de nutriente a ser aplicado, e como meta proporcionarem maior retorno líquido para o produtor. Assim era recomendado que o nitrogênio fosse aplicado através de fontes amídicas (ureia) e amoniacais (sulfato de amônio), sendo que fontes nítricas não eram aconselhadas devido às elevadas perdas. A recomendação das quantidades de nitrogênio a serem aplicadas eram definidas pelo teor de matéria orgânica contida no solo e pelo tipo de cultivar a ser usada. Sendo que a matéria orgânica era dividida em três faixas $\leq 2,5\%$, 2,6-5,0% e $<5\%$ gerando três doses par cada tipo de cultivar, sendo estes Tradicional, Intermediário e Moderna, sendo a máxima recomendação 90 Kg ha^{-1} de N como pode-se observar na Tabela 1. Devido à mobilidade das formas minerais de nitrogênio no solo, na adubação de base era recomendada a aplicação de apenas 10 Kg ha^{-1} de N para evitar perdas principalmente por lixiviação. Para adubação de cobertura era recomendado que fossem levados em conta alguns fatores para se obter sucesso nesta prática, estes fatores são: histórico da área; época de

semeadura; incidência de doenças; desenvolvimento vegetativo e eficiência de utilização do nitrogênio. O fracionamento era indicado para as doses maiores que 50 Kg ha⁻¹ de N, sendo metade aplicada no início do perfilhamento ou 35 dias após a emergência e o restante no “ponto de algodão”. Na utilização de dose única era recomendado que a aplicação fosse feita na fase de IDP.

Tabela 1: Recomendação de adubação nitrogenada para o Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 1991).

Teor de matéria orgânica no solo	Nitrogênio		
	Cultivar – Tipo		
	Tradicional	Intermediário	Moderno
%	Kg de N ha ⁻¹		
≤2,5	40	60	90
2,6 – 5,0	25	45	80
>5,0	<10	<30	<70

No ano de 2003 ocorreram algumas alterações nas recomendações de adubação nitrogenada para arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Segundo consta em SOSBAI (2003) as cultivares do tipo tradicional saíram das recomendações. Assim as recomendações baseavam-se em três faixas de matéria orgânica para dois tipos de cultivares de porte médio e baixo (Tabela 2). Podendo ser acrescido ou subtraído 30% da adubação recomendada, assim a dose máxima chega a 117 Kg ha⁻¹ de N de acordo com: o histórico da área; cultivos antecedentes; incidência de doenças; desenvolvimento vegetativo da lavoura e condições climáticas. Esta recomendação também especifica melhor a primeira aplicação de N em cobertura, mencionando o estágio vegetativo V4 como momento da aplicação, também indica que a aplicação deve ser feita preferencialmente em solo seco (início da irrigação em até três dias), não sendo possível realizar a aplicação em solo seco deve-se realizar a aplicação sobre a lâmina de água. Também ressalta que a segunda aplicação deve ser realizada sobre lâmina de água, interrompendo a circulação de água por no mínimo três dias.

Tabela 2: Recomendação de adubação nitrogenada para arroz irrigado em sistema de semeadura em solo seco (SOSBAI, 2003).

Teor de matéria orgânica no solo	Nitrogênio	
	Cultivar – Tipo	
	Porte Médio	Porte Baixo
%	Kg de N ha ⁻¹	
≤2,5	60	90
2,6 – 5,0	45	80
>5,0	≤30	≤70

Nas recomendações de SOSBAI (2005) a indicação de adubação nitrogenada passa a ser por faixa de rendimento e não mais por tipo de cultivar, sendo as três faixas de rendimentos relacionadas com três faixas de matéria orgânica (Tabela 3), podendo ser reduzida ou acrescida até 30% da dose recomendada, assim a dose máxima é de 156 Kg ha⁻¹ de N. Além disso, indica que a primeira dose (início do perfilhamento) pode ser aumentada até 60% do total a ser aplicado em cobertura. Nas recomendações técnicas para o arroz irrigado do ano de 2007 a única mudança referente à adubação nitrogenada é a mudança de expectativa de rendimento para expectativa de incremento de produtividade, sendo as faixas de rendimentos <6, 6 a 9 e >9,0 t ha⁻¹ substituídas por incremento de 2,3 ou 4 t ha⁻¹ respectivamente, de modo que as quantidades de adubação não foram alteradas (SOSBAI, 2007).

Tabela 3: Recomendação de adubação nitrogenada para arroz irrigado em sistema de semeadura em solo seco (SOSBAI, 2005).

Teor de matéria orgânica no solo	Nitrogênio		
	Expectativa de rendimento (t ha ⁻¹)		
	<6,0	6,0 a 9,0	>9,0
%	Kg de N ha ⁻¹		
≤2,5	60	90	120
2,6 – 5,0	50	80	110
>5,0	≤40	≤70	≤110

A recomendação para arroz irrigado no Rio Grande do Sul mais recente é SOSBAI (2012). A forma de recomendação muda para expectativa de resposta à adubação como mostra a Tabela 4. As doses mais baixas saem das recomendações, e os acréscimos ou decréscimo passam a ser de 30 kg ha⁻¹ de N,

sendo que a dose máxima fica em 150 kg ha^{-1} de N. A adubação de base fica entre 10 e 20 kg ha^{-1} de N, e a de cobertura é recomendada dividir metade em V3-V4 e metade em R0, não sendo mais mencionada a aplicação única, para altas doses pode-se elevar a primeira dose desde que a segunda aplicação seja maior ou igual a 40 kg ha^{-1} de N.

Tabela 4: Recomendação de adubação nitrogenada para arroz irrigado, considerando a expectativa de resposta à adubação (SOSBAI, 2012).

Teor de matéria orgânica no solo	Nitrogênio	
	Expectativa de Resposta à Adubação	
	Média	Alta
%	Kg de N ha^{-1}	
$\leq 2,5$	90	120
2,6 – 5,0	80	110
$> 5,0$	≤ 70	≤ 110

Em síntese as mudanças nas recomendações foram referentes à interpretação do resultado da análise de solo. Onde ocorreu o aumento das doses e a mudança no modo de interpretação, primeiramente as recomendações eram baseadas nos tipos de cultivares, posteriormente na expectativa de produtividade e atualmente na expectativa de resposta a adubação. Sendo que a ferramenta utilizada sempre foi à análise de solo e o parâmetro avaliado sempre foi a matéria orgânica do solo. Porém a matéria orgânica não apresenta uma boa relação com a produtividade relativa como mostra EMBRAPA (2004). Estes mesmos autores também ressaltam que a matéria orgânica não deve ser o único critério para avaliação da disponibilidade de N e indicativo para a necessidade de adubação nitrogenada, e ainda afirmam que a resposta ao N esta mais relacionada com fatores climáticos e ao tipo de planta do que ao teor de matéria orgânica do solo.

3 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no município de Manoel Viana, localizado na Fronteira Oeste que é uma importante região produtora de arroz irrigado do estado do Rio Grande do Sul, em uma área localizada na propriedade do senhor Gilson Rigo Marques, a qual foi cedida para execução deste experimento. Situada por definição das coordenadas geográficas 29° 25' 34.64" S e 55° 43' 49.78" O, na altitude de 81 m, na safra 2012/2013.

O solo é classificado como Luvissole Háplico Pálico plíntico (Unidade Virgínia) STRECK, *et. al.* (2008) e relevo considerado suave ondulado. O clima da região é classificado como temperado úmido com verão quente (Cfa), conforme classificação de Köppen. Os dados climatológicos, radiação, temperatura e precipitação, do período em que foi conduzido o experimento, são apresentados nas Figuras 1, 2 e 3 respectivamente.

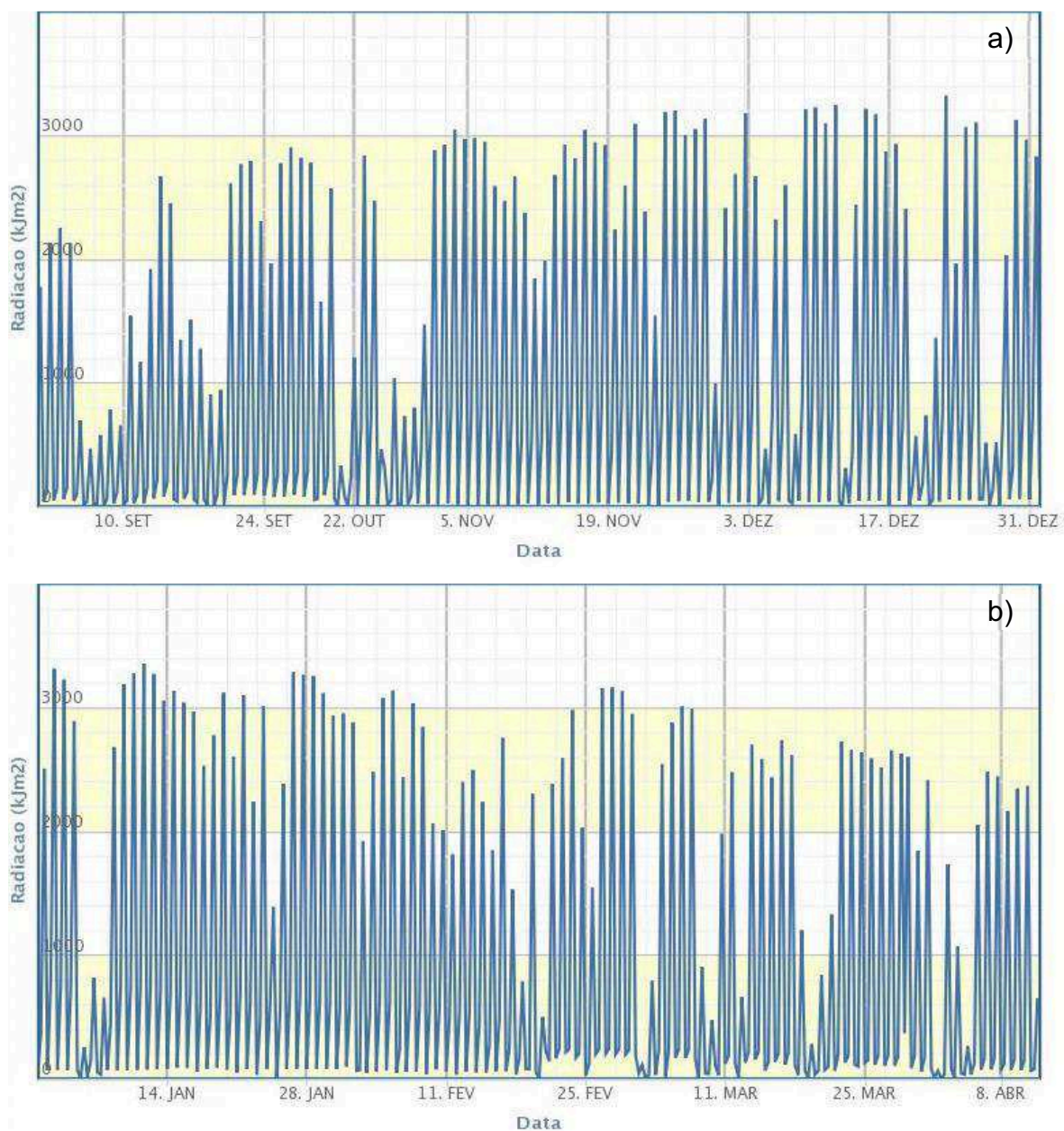


Figura 1: Radiação do período de setembro a dezembro de 2012 (a) e de janeiro a abril de 2013 (b), obtidas da estação automática de Alegrete (Estação: A826) INMET (2014).
Fonte: INMET 2014.

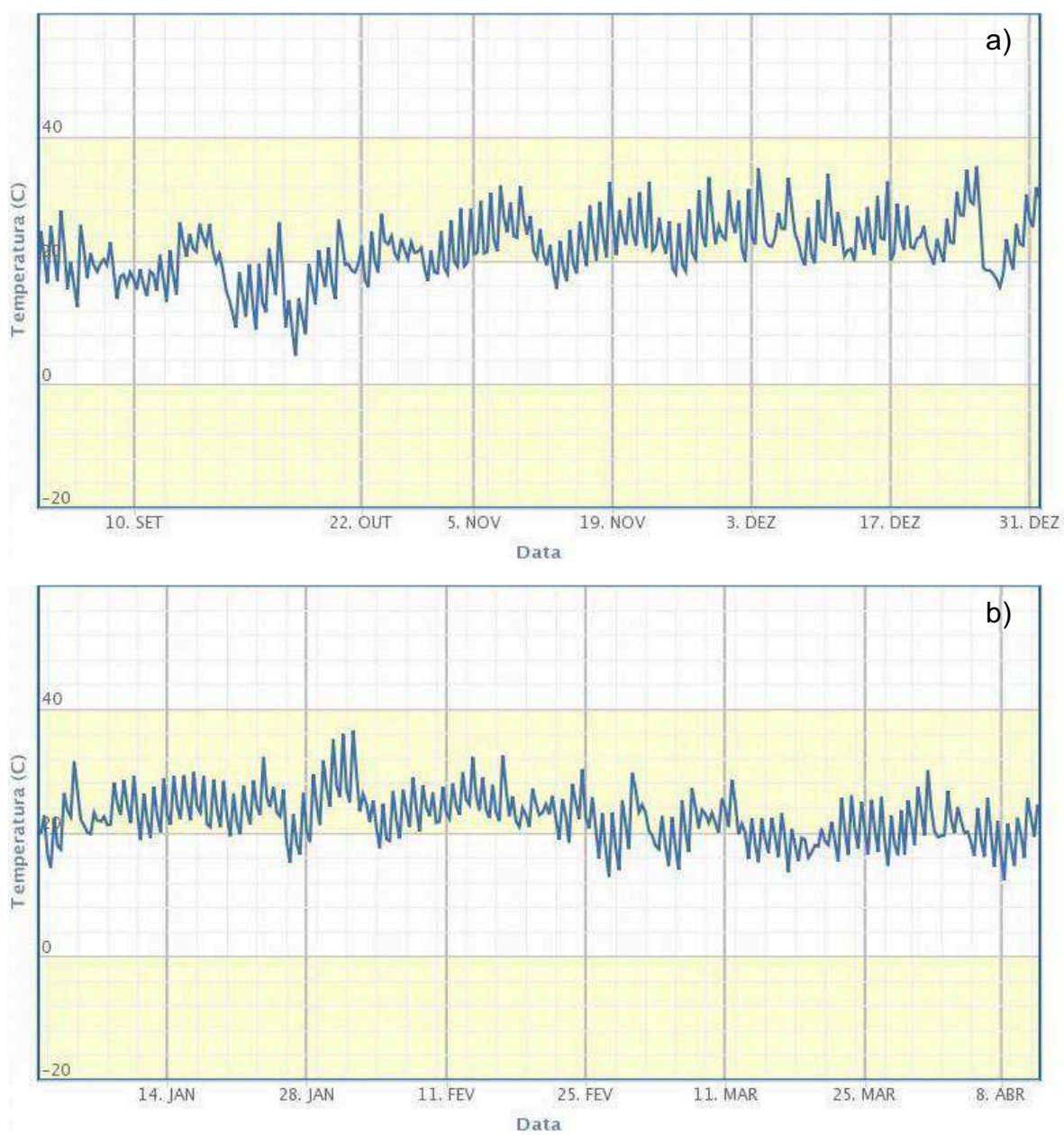


Figura 2: Temperatura do período de setembro a dezembro de 2012 (a) e de janeiro a abril de 2013 (b), obtidas da estação automática de Alegrete (Estação: A826) INMET (2014).
Fonte: INMET 2014.



Figura 3: Precipitação do período de setembro a dezembro de 2012 (a) e de janeiro a abril de 2013 (B), obtidas da estação automática de Alegrete (Estação: A826) INMET (2014).
Fonte: INMET 2014.

Para a instalação do experimento, foi previamente feito um levantamento dos atributos químicos da área, na Tabela 5 são mostrados os principais resultados da análise de solo de uma amostra média da área, realizada antes da instalação do experimento. Para certificar a homogeneidade do local, foram realizadas amostragens em malha a cada cinco metros. Em cada amostra foram determinados os teores de fósforo, potássio, carbono orgânico e pH em água e em solução SMP, conforme métodos descritos por Tedesco, *et. al.* (1995).

Tabela 5: Resultado da análise de solo Realizada antes da instalação do Experimento.

pH água 1:1	Índice SMP	CTC efetiva	CTC pH 7	Saturação (%)		%Argila	% Mat. Org.	P- Mehlich	K
		cm _c /dm ³		Al	Bases	m/v		mg/dm ³	
4,9	5,4	18,1	25,7	6	66	43	2,4	3	84

Os fatores de tratamento avaliados neste estudo foram Cultivar (C), com os níveis IRGA 424 e IRGA 417, e Dose de Nitrogênio (N), com níveis zero (0) e quinze (15 g m⁻²) gramas de nitrogênio por metro quadrado. A cultivar IRGA 417 é de ciclo precoce e leva 83 dias até a floração plena e 115 dias até a maturação, e a cultivar IRGA 424 apresenta ciclo médio e leva 96 até a floração plena e 132 até a maturação (SOSBAI, 2012). Os tratamentos consistiram na variação dos níveis de N para cada cultivar, num esquema fatorial 2x2.

A área experimental foi composta de quatro parcelas com dimensões de 70 m² (7mx10m), estas parcelas tiveram uma área útil de 40 m² (5mx8m), onde foram delimitados os tratamentos (Figura 4). As parcelas receberam os mesmo procedimentos de preparo de solo, adubação de base, semeadura, controle de plantas invasoras, pragas e doenças, e manejo da água. Todos os procedimentos de manejo da cultura estão de acordo com as indicações descritas em SOSBAI (2012), exceto os tratamentos com níveis de N. Foram utilizadas sementes certificadas com porcentagem de germinação conhecida, a densidade de semeadura utilizada foi a suficiente para obtenção de uma população de 300 plantas m⁻², para ambas cultivares. A semeadura da cultivar IRGA 424 foi realizada em 08/11/2012 e da IRGA 417 21/11/2014, de forma a atingirem o

florescimento no mesmo período. Para o tratamento que teve adubação nitrogenada, esta foi realizada com a aplicação de 1g m^{-2} na semeadura e 14g m^{-2} em cobertura sendo 50% da dose no estágio V3/V4 e o restante aplicado de modo a garantir um ótimo suprimento de N no estágio R0 de acordo com o recomendado em SOSBAI (2012).



Figura 4: Foto da área experimental, em primeiro plano a parcela da cultivar IRGA 417 com aplicação de 15g m^{-2} de N e em segundo plano à esquerda a mesma cultivar sem aplicação de N.

As variáveis-reposta observadas foram acumulação de nitrogênio e crescimento das plantas, o crescimento foi avaliado através do acúmulo de massa seca e aumento da área foliar, também foi avaliada área de raiz e a produtividade. O método de observação do acúmulo de matéria seca e de nitrogênio foi por meio da coleta de amostras do tecido vegetal, realizada em intervalos médios de 15 dias, iniciados a partir do estágio fenológico V2, segundo escala descrita por COUNCE; KEISLING; MITCHELL (2000). De modo que foram realizadas oito coletas na cultivar IRGA 417 e dez na cultivar IRGA 424. A cada coleta foram

retiradas três amostras por parcela, constituindo três unidades experimentais, e, portanto três repetições.

As unidades experimentais consistiram em um metro quadrado contido em uma parcela de determinado tratamento em determinado tempo. A unidade de observação consistiu de uma linha de semeadura contida na unidade experimental, sendo coletado um metro linear ($0,158 \text{ m}^2$) para as duas primeiras coletas e meio metro ($0,079 \text{ m}^2$) nas demais. Em cada unidade experimental foi realizada apenas uma coleta durante o ciclo. As escolhas dos locais dos tratamentos e das unidades experimentais a serem coletadas foram realizadas de forma aleatória.

Todas as amostras de tecido vegetal foram secas a uma temperatura de 60°C , em estufa de ventilação forçada. Após devidamente secas, foram particionadas em colmo, bainha da folha, limbo foliar, panícula e tecido morto. O material vegetal seco (matéria seca - MS) foi pesado, com precisão de miligramas, e em seguida conduzido ao Laboratório de Análises de Solo e Tecido Vegetal, para determinação da concentração de nitrogênio, segundo método descrito por TEDESCO, *et. al.* (1995). De forma que a soma da MS de todos os órgãos constituiu a Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) em cada época, e a Matéria Seca da Panícula (MSP) obtida pela pesagem direta da panícula. A média ponderada do teor de nitrogênio de cada época multiplicado por sua respectiva MSPA originou o Nitrogênio Acumulado Total (NAT), da mesma forma o Nitrogênio acumulado na panícula (NAP) foi calculado pela multiplicação do teor de N na panícula e sua respectiva MSP.

O índice de área foliar (IAF) foi calculado pela relação entre a área foliar (AF) e a superfície de terreno correspondente ($0,158$ ou $0,079\text{m}^2$), obtendo-se área de folha por área de solo ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$). A área foliar por sua vez foi estimada a cada coleta, através do produto da massa seca de folhas verdes com a relação entre a massa e a área foliar. Esta relação foi determinada em três tempos diferentes, foi realizada a estimativa da área em doze folhas por unidade experimental, estas folhas foram devidamente secas e pesadas, para obtenção da relação da massa seca com a área.

A coleta de raízes foi realizada durante a floração plena num mesmo momento para todas as cultivares, foram coletadas três repetições por parcela. A coleta foi realizada através de um monólito com volume de 1485,2 cm³, sendo as dimensões deste 20 cm de profundidade, 15,8 cm de largura (entre linha) e 4,7 cm de comprimento, o qual foi inserido de modo que a entre linha ficasse no centro da largura. Os monólitos ficaram submersos em dispersante (NaOH a 0,05 Mol L⁻¹) por 24h posteriormente foram lavados em água corrente com o auxílio de uma peneira de 2 mm, depois devidamente limpas as amostras foram guardadas na geladeira em solução com água e Tolueno (0,25 ml). Posteriormente foi realizada a medição do comprimento de raízes através do método descrito por TENNANT (1975) e o volume estimado através do peso úmido e a Área Superficial de Raízes (ASR) pela razão entre o volume e o comprimento.

Para a avaliação da produtividade final foram utilizadas três repetições por parcela. As coletas foram realizadas em um metro quadrado e posteriormente trilhadas, secas em estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 60°C, limpas em equipamento para amostras pequenas e pesadas em balança de precisão. As massas obtidas foram corrigidas para umidade de 13%.

Análise do crescimento foi realizada através do ajuste de equações logísticas de tipo sigmoide com três parâmetros, para o acúmulo de MSPA e para o acúmulo de MSP de acordo com Alvarez, *et. al.* (2005), Alvarez; Crusciol; Nascente (2012), Lopes (1991) e Malavolta, *et. al.* (1983). De modo que o ajuste da regressão foi realizado através do software SigmaPlot com a Equação 1, sendo f Matéria Seca (MS) expresso em g m⁻² e x o tempo em Dias Após a Emergência (DAE).

$$f = a / (1 + \exp(-(x - x_0)/b)) \quad (1)$$

Onde: a é o parâmetro que delimita o ponto máximo da curva; b é o parâmetro que define a inclinação máxima da curva; e o parâmetro x_0 estabelece o valor de x onde y (MS) é igual à metade de a . A Figura 5 mostra o comportamento da função com a variação dos parâmetros. Também foram avaliadas a Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), obtida através da derivada da

equação ajustada para MS e expressa em $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ mostrada na Equação 2 conforme Alvarez; Crusciol; Nascente (2012), e a Taxa de Crescimento Relativo (TCR) obtida através do quociente da TCA e a MSPA expressa em $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ como mostra a Equação 3 segundo França, *et. al.* (2008) e Alvarez; Crusciol; Nascente (2012). Onde M é a massa em g e T o tempo em dias.

$$TCA = \frac{dM}{dT} \quad (2)$$

$$TCR = \frac{TCA}{MSPA} \quad (3)$$

Para analisar a acumulação de Nitrogênio na parte aérea e na panícula também foi utilizada a Equação 1, sendo f N acumulado na MS na unidade de $g\ m^{-2}$ e x o tempo em DAE. Através da derivada da equação ajustada para o acúmulo de N foi obtida a Taxa de Absorção Absoluta (TAA) expressa em $g\ N\ m^{-2}\ dia^{-1}$, Equação 4, proposta com base na Equação 2 de TCA. E por fim obteve-se a Taxa de Utilização Especifica (TUE) através da razão entre TCA e o acúmulo de N tendo como unidades $g\ g^{-1}\ N\ dia^{-1}$ Equação 5 de acordo com França *et. al.* (2008). Sendo MN a massa de N em g e T o tempo em dias.

$$TAA = \frac{dMN}{dT} \quad (4)$$

$$TUE = \frac{TCA}{NAT} \quad (5)$$

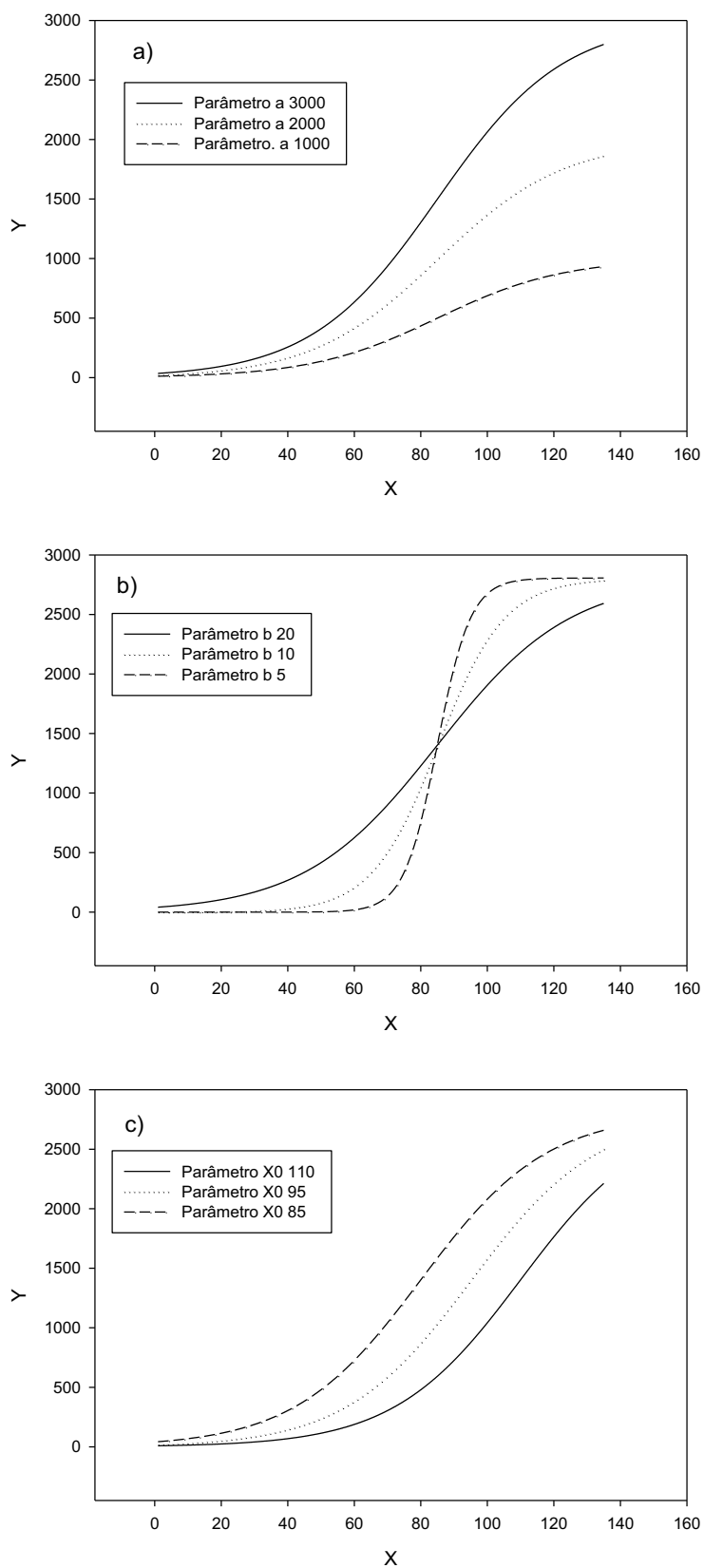


Figura 5: Demonstração da variação dos parâmetros utilizados no ajuste da equação ($f = a / (1 + \exp(-(x-x_0)/b))$) que descrevem o acúmulo de Matéria Seca e de Nitrogênio.

Para análise da eficiência do Nitrogênio foram utilizados os seguintes parâmetros, todos estimados a partir das funções ajustadas para os dados primários: Recuperação Aparente de Nitrogênio (RAN) obtida pela razão entre a diferença do acúmulo de N com e sem aplicação de nitrogênio e a dose aplicada de adubação nitrogenada expressa em porcentagem de acordo com a Equação 6 segundo Borin, *et. al.* (2013) e Fageria; Santos; Cutrim (2007). Eficiência de Utilização de Nitrogênio (EUN) obtida pelo cociente entre a MSPA e o NAT expresso em $g\ g^{-1}$ de N descrito na Equação 7, conforme Mariot, *et. al.* (2003) e Eberhardt; Da Silva; Rieffel Neto (1999). Eficiência Fisiológica de Utilização de Nitrogênio (EFUN) obtida através da razão entre a Produtividade de grãos e o NAT expresso em $g\ g^{-1}$ de N descrita na Equação 8, segundo Borin, *et. al.* (2013). Eficiência Agrônômica de Utilização do Nitrogênio (EAUN) obtida pela razão da diferença de produtividade com e sem aplicação de N e a dose de N aplicada expressa em $g\ g^{-1}$ de N e descrita na Equação 9, segundo Fageria; Santos; Cutrim (2007), Borin, *et. al.* (2013) e Schoenfeld, *et. al.* (2013).

$$RAN = \frac{MN15 - MN0}{D15} \quad (6)$$

$$EUN = \frac{MSPA}{NAT} \quad (7)$$

$$EFUN = \frac{P}{NAT} \quad (8)$$

$$EAUN = \frac{P15 - P0}{D15} \quad (9)$$

Onde: $MN15$ é a massa acumulada de N na dose de $15g\ m^{-2}$ de N em gm^2 ; $MN0$ a massa de N acumulada sem aplicação de N em $g\ m^{-2}$; $D15$ dose de $15g\ m^{-2}$ de N; P produtividade em $g\ m^{-2}$; $P15$ produtividade na dose de $15g\ m^{-2}$ de N em $g\ m^{-2}$; $P0$ produtividade sem aplicação de N em $g\ m^{-2}$.

Para interpretação da diluição do N na MST foram ajustadas equações potenciais com dois parâmetros conforme a função apresentada na Equação 10 (GASTAL; LEMAIRE, 2002) e (SHEEHY, 1998), a qual foi ajustada pelo software SigmaPlot. Sendo f o teor de N em porcentagem e x tempo em DAE (onde $x \geq 1$), de forma que a define o ponto mais alto da curva (maior y) e b define o patamar em que y deixa de cair (onde $b < 0$). O comportamento da função perante a variação dos parâmetros é mostrado na Figura 6.

$$f = ax^b \quad (10)$$

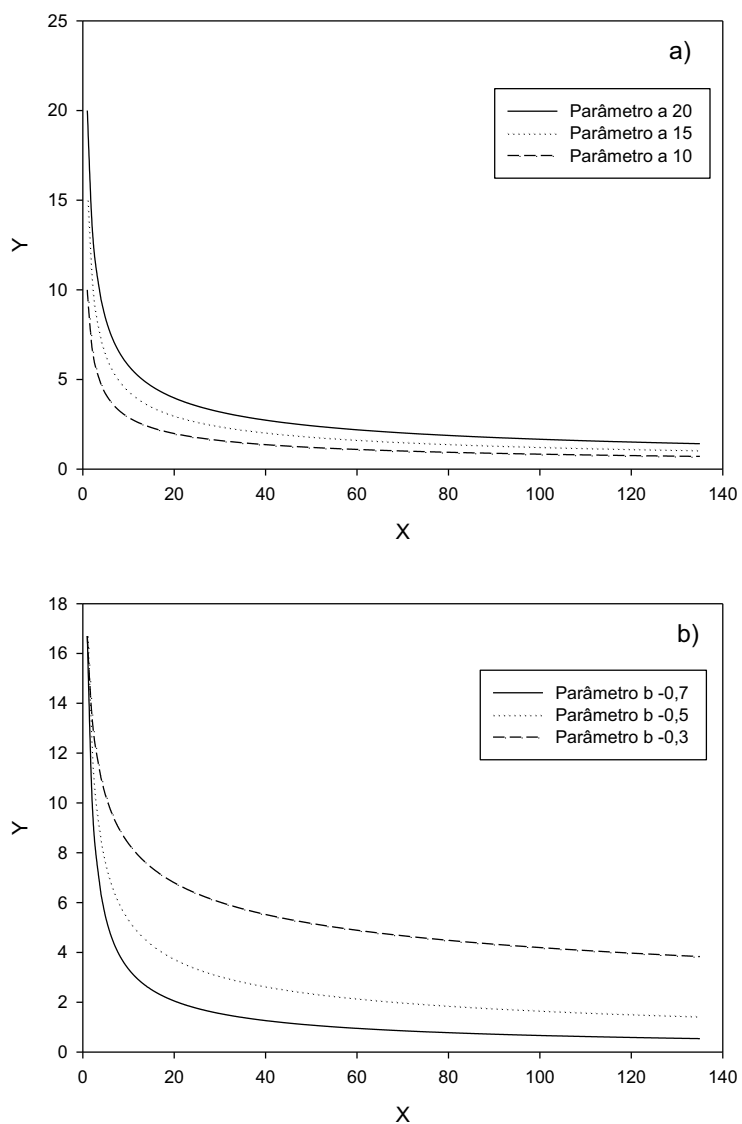


Figura 6: Demonstração da variação dos parâmetros utilizados no ajuste da equação ($f = ax^b$) que descrevem a diluição do Nitrogênio.

4 Resultados e discussão

4.1 Resposta das cultivares IRGA 424 e IRGA 417 a dois níveis de adubação nitrogenada

4.1.1 Produtividade

A produtividade de grãos obtida foi de acordo com a esperada, de modo que a cultivar IRGA 424 foi mais produtiva do que a IRGA 417, nos dois níveis de nitrogênio. A cultivar IRGA 424 produziu 945 e 1164 g m⁻², nos níveis de nitrogênio zero e 15g m⁻² de N respectivamente, já a cultivar IRGA 417 apresentou uma produtividade de 710 g m⁻² sem nitrogênio e 1011 g m⁻² com adubação nitrogenada (Figura 7). A diferença entre as cultivares tem significância ao nível de 5% de probabilidade e as diferenças entre as doses tem significância ao nível de 1% de probabilidade de acordo com o Teste de Tuckey. As produtividades obtidas com a aplicação de 15 g m⁻² de N, foram semelhantes à alcançada por Schoenfeld, *et. al.* (2013) e Borin, *et. al.* (2013) com a mesma dose para as cultivares IRGA 428 e IRGA 424 respectivamente. Porém as produtividades obtidas sem aplicação de N foram altas, sendo maiores que a de Schoenfeld, *et. al.* (2013) que foi 600 g m⁻². E quando comparadas a média da cultura no estado que é de 726 g m⁻², CONAB (2014), nota-se que a cultivar IRGA 417 alcançou uma produtividade semelhante e a IRGA 424 apresentou uma produtividade superior. O acréscimo de produtividade de grãos em resposta a aplicação de N, foi de 219 g m⁻² para cultivar IRGA 424 e de 301 g m⁻² na IRGA 417, apesar de ter uma produtividade menor a cultivar IRGA 417 apresentou uma resposta maior ao N aplicado. Estes acréscimos na produtividade são baixos quando comparados ao obtido por Schoenfeld, *et. al.* (2013) que com a adubação nitrogenada conseguiu um acréscimo de cerca de 500 g m⁻².

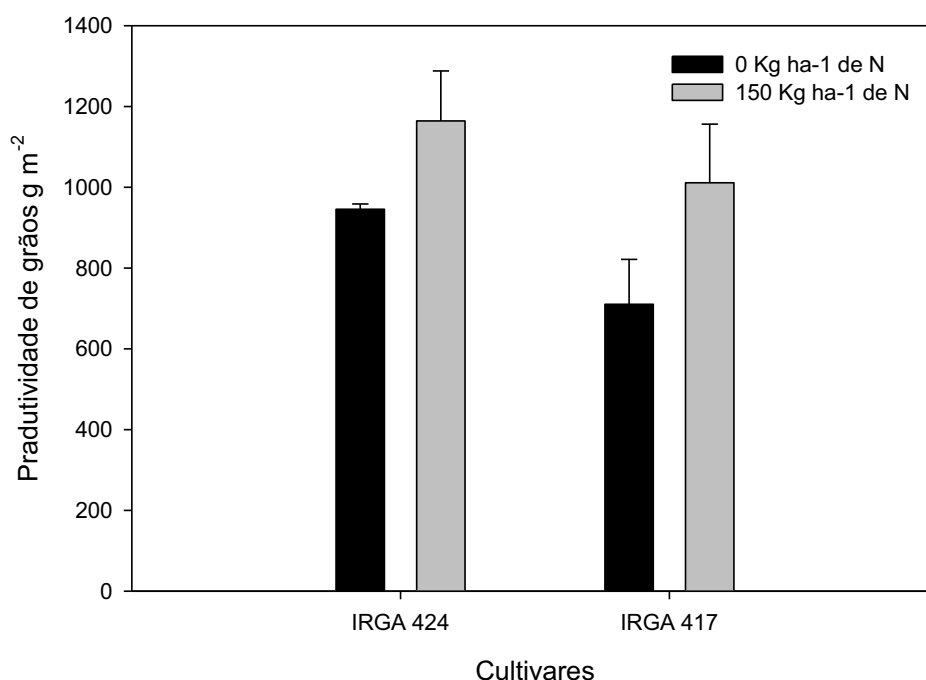


Figura 7: Produtividade em grãos das cultivares IRGA 424 e IRGA 417 submetidas a dois níveis de adubação nitrogenada zero e 15 g m⁻² de N.

A produtividade está ligada à capacidade da cultura em explorar o ambiente, de forma que a produtividade aumenta proporcionalmente com a capacidade de interceptar luz e absorver água e nutrientes. Porém este acréscimo no crescimento das raízes, e principalmente de folhas tem um limite, a partir da qual estes órgãos param de contribuir para acumulação de fotoassimilados e continuam respirando, acarretando na diminuição da fotossíntese líquida. Então, quando se utiliza a adubação nitrogenada como promotor de crescimento vegetativo deve-se levar em conta que existe um IAF Crítico que está entre 5 e 6 Segundo Yoshida (1981), buscando a máxima eficiência na interceptação de luz, associando o mínimo IAF com a máxima interceptação de luz.

As cultivares estudadas quando cultivadas sem adubação nitrogenada apresentaram índices de área foliar baixos, 3,6 na cultivar IRGA 424 e 2,8 na IRGA 417, ambas abaixo do IAF Crítico. Já quando cultivadas com a aplicação de 15 g m⁻² de N apresentaram um acréscimo considerável no IAF, sendo 2,8 m² de folha fotossinteticamente ativa a mais por m² de cultivo na IRGA 424 e de 2,7 na

IRGA 417 (Figura 8). Portanto a resposta do IAF foi praticamente a mesma, mas proporcionalmente maior na cultivar IRGA 417. Desta forma a IRGA 417 atingiu 5,5 de IAF que esta dentro da faixa ideal, e a IRGA 424 6,4 que esta acima do IAF Crítico. Assim na IRGA 424 poderia se atingir o IAF ideal com uma adubação nitrogenada menor. Este acréscimo na área foliar beneficia a fotossíntese, acumulando mais fotoassimilados que são revertidos em produção de grãos. O aumento do IAF também ocasiona uma transpiração maior da planta, devido a maior área superficial de transpiração, conseqüentemente a absorção de nutrientes aumenta através de um maior fluxo de massa.

A resposta no crescimento das raízes ocorreu de forma mais pronunciada na cultivar IRGA 424, que teve um acréscimo de $38 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ na área explorada pelas raízes por volume de solo, aumentando de $162 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ para $200 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$. Já a cultivar IRGA 417 não apresentou acréscimo na área explorada pelas raízes explorando $123 \text{ m}^2 \text{ m}^{-3}$ de solo com e sem aplicação de adubação nitrogenada (Figura 9). Este acréscimo na área superfície de raiz possibilita uma maior absorção de nutrientes, garantindo uma melhor nutrição das plantas. Desta forma a cultivar IRGA 424 aumentou a capacidade de explorar os nutrientes disponibilizados pelo solo, junto com o a demanda por nutrientes para atingir uma maior produtividade. Já a cultivar IRGA 417 aumentou a produtividade e conseqüentemente a demanda com a adubação nitrogenada, mas não aumentou sua capacidade de absorver nutrientes através do aumento de ASR. Este pode ser um dos fatores que faz com que a IRGA 417 não atinja patamares de produtividade tão altos quanto a IRGA 424.

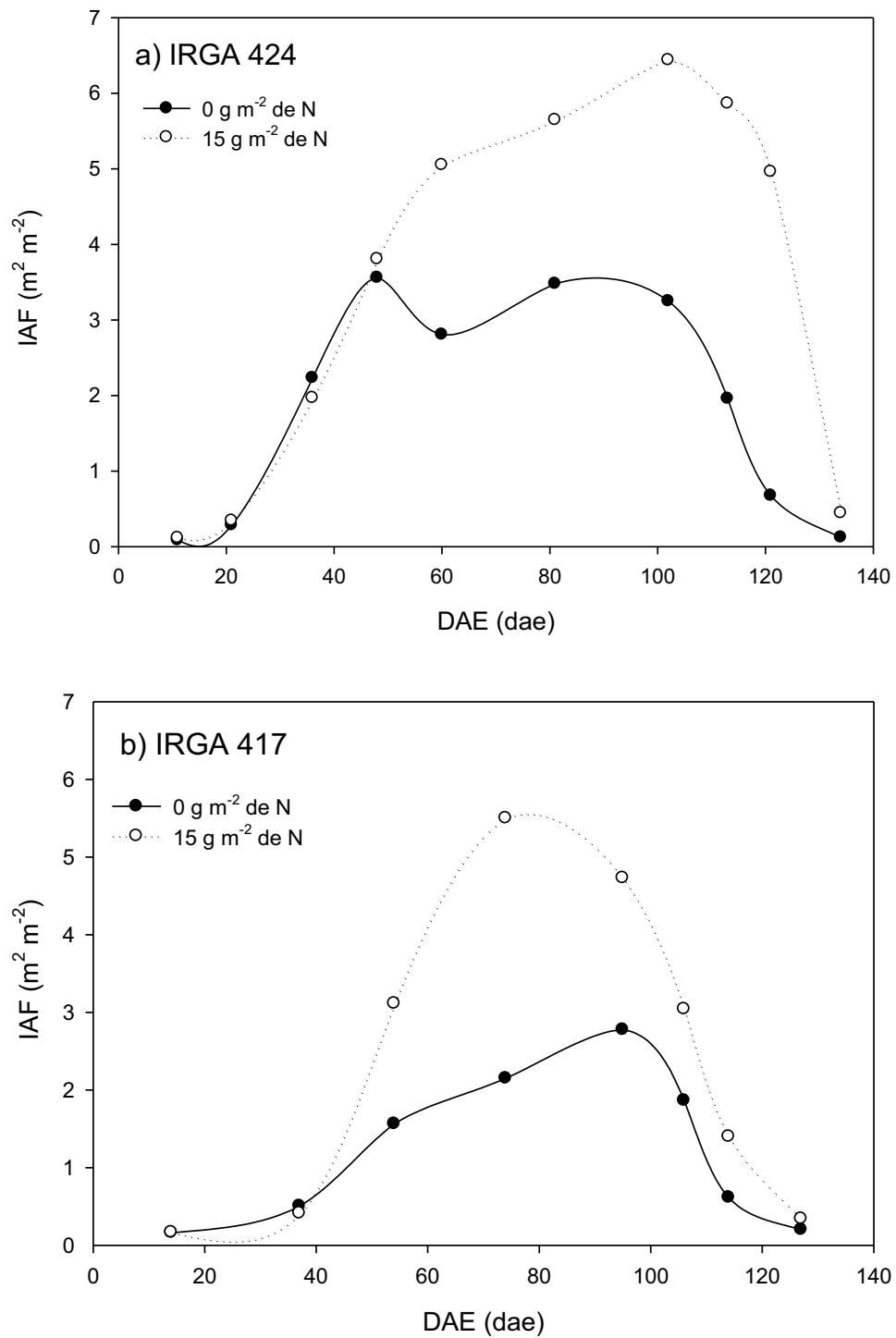


Figura 8: Variação Temporal do índice de área foliar (IAF) para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m⁻² (○).

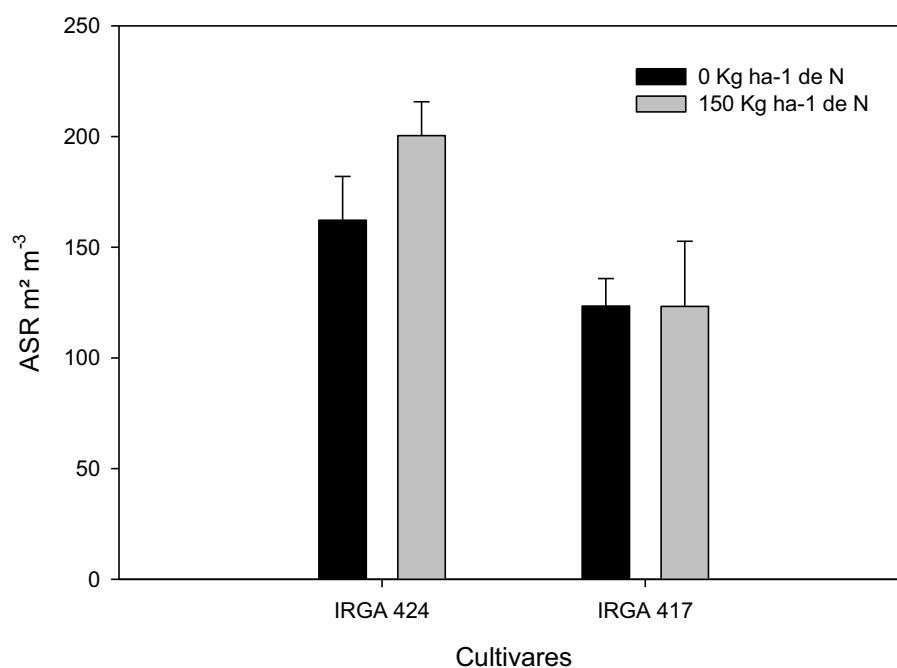


Figura 9: Relação entre as cultivares IRGA 424 e IRGA 417 submetidas a dois níveis de adubação nitrogenada (0 e 15 g m^{-2} de N) e a área de superfície de raiz por volume de solo.

A cultivar IRGA 424 é notadamente mais apta a explorar os recursos do meio e transformá-los em produção de grãos, pois apresenta uma maior área foliar por área de cultivo e maior área de raiz por volume de solo, estas características de fato se revertem em produção. Porém a cultivar IRGA 417 apresentou um acréscimo maior na produtividade, mesmo com um acréscimo no IAF igual a cultivar IRGA 424, indicando que o IAF era mais crítico na cultivar IRGA 417.

4.1.2 Biomassa

4.1.2.1 *Matéria Seca da Parte Aérea*

A Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) refere-se a toda biomassa produzida acima do solo, em experimentos com solo geralmente as raízes não são utilizadas no monitoramento do crescimento, exceto quando são o objeto de estudo, pois demanda muito tempo e trabalho. É uma medida muito importante por fornecer informações como à taxa de crescimento e estimativa de produtividade, já que no arroz irrigado o índice de colheita geralmente fica em torno de 0,5. Se o padrão de crescimento de uma cultivar for bem conhecido, a MSPA pode ser uma ferramenta útil para estimar seu crescimento, e assim auxiliar na tomada de decisão da quantidade de N a ser aplicada. Para isso é necessário além de conhecer bem as características de crescimento de uma cultivar, entender também como a adubação nitrogenada afeta seu crescimento. Desta maneira, neste item trataremos sobre as características de crescimento e de como são afetadas pelo suprimento de N.

As curvas de crescimento são as funções que descrevem o acúmulo de MSPA em relação ao tempo, o ajuste destas funções foi feito através da Equação 1 utilizando todo conjunto de dados primários, porém na Figura 10 são apresentadas somente as funções e as médias das coletas. Os ajustes obtidos foram bons, como pode ser observado no Apêndice A, mostrando alto grau de significância tanto para os modelos, com nível de significância menor que 0,01 % pelo teste F, quanto para os coeficientes, que apresentaram significância ao nível de 0,1% pelo teste t, com exceção do parâmetro b que apresentou significância a 1%. Com coeficientes de determinação variando entre 0,89 a 0,97. Neste aspecto nota-se que os tratamentos que não receberam adubação nitrogenada tiveram uma variação maior, prejudicando o ajuste da equação, resultando em coeficientes de determinação de 0,90 e 0,89 para as cultivares IRGA 424 e IRGA 417 respectivamente.

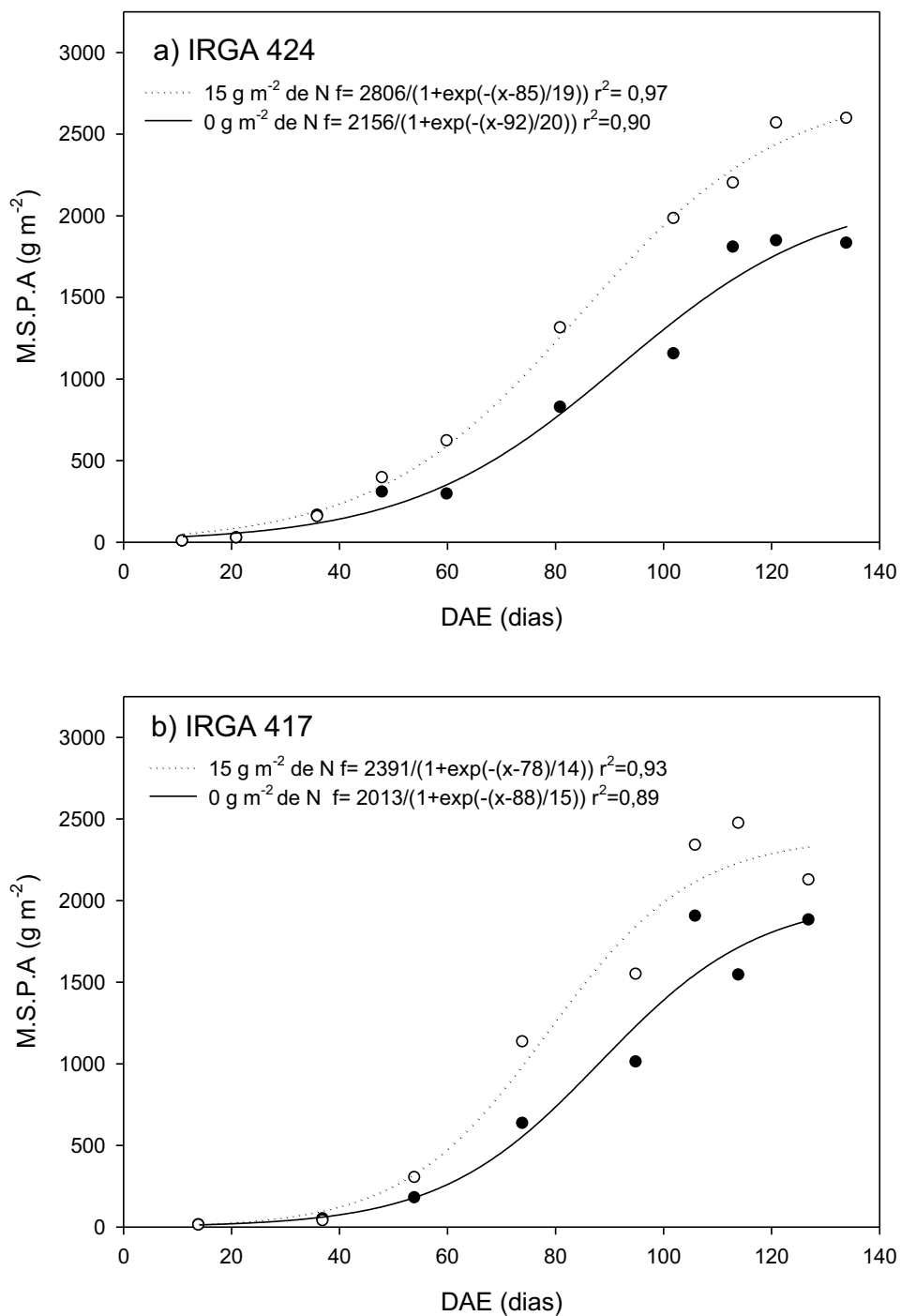


Figura 10: Variação temporal da Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m⁻² (○).

As respostas à aplicação de adubação nitrogenada em produção de MSPA na cultivar IRGA 424 representou um aumento de 1899 g m^{-2} para 2588 g m^{-2} com um acréscimo de 689 g m^{-2} equivalente a 27%, segundo a estimativa do modelo para o final do ciclo. Já na cultivar IRGA 417 o acréscimo, estimado pelo modelo para o final do ciclo, foi de 1727 g m^{-2} para 2232 g m^{-2} , aumentando 505 g m^{-2} na MSPA, representando 23% de acréscimo. A cultivar IRGA 424 apresentou uma maior resposta na produção de biomassa ao N aplicado. Pois além de ter desenvolvido mais MSPA, obteve um incremento, absolutamente e proporcionalmente, maior no acúmulo de biomassa. Porém esta maior resposta na biomassa não reverteu em maior resposta na produção de grãos, já que o incremento em produtividade foi maior na cultivar IRGA 417 (Figura 7). As curvas de crescimento obtidas tem o mesmo comportamento que as apresentadas por Lopes (1991), Alvarez, *et. al.* (2006) e Alvarez; Crusciol; Nascente (2012) apresentam um crescimento inicial mais baixo, com um estagio intermediário de crescimento máximo que diminui com o final do ciclo, se adequando a uma equação sigmoideal. Porém as curvas apresentadas no presente estudo atingem acúmulos de MSPA bem superiores, com a cultivar IRGA 424 chegando ao dobro das obtidas por Alvarez; Crusciol; Nascente (2012). Já as curvas apresentadas por Sheehy, *et. al.* (1998) apresentam um comportamento diferenciado, de forma que o crescimento no fim do ciclo não diminuiu, de forma que a equação utilizada para descrever o crescimento foi uma polinomial de quarto grau. As produções no final do ciclo obtidas por Sheehy, *et. al.* (1998) foram menores em comparação com as apresentadas aqui.

Observando os parâmetros das funções é possível interpretar os efeitos da adubação nitrogenada através deles. Quando observamos o parâmetro a notamos que as maiores MSPA estão nas funções dos tratamentos das cultivares IRGA 424 e IRGA 417 com adubação nitrogenada (Figura 10). Também se pode verificar que a cultivar IRGA 424 produziu mais MSPA, e pela diferença dos parâmetros a conclui-se que esta cultivar também apresentou um maior incremento na MSPA. Aqui nota-se a maior eficiência da utilização do nitrogênio pela IRGA 424 para produzir biomassa na parte aérea. O parâmetro b juntamente com o x_0 nos indicam a velocidade do crescimento. Sendo que quanto menor for b maior é a inclinação da curva e, portanto maior a taxa de crescimento, quanto menor for x_0 mais rápido se atinge metade da MSPA. Desta forma observa-se que

a cultivar IRGA 417, devido a valores de b e x_0 menores, tem um crescimento mais rápido que a IRGA 424. E que a aplicação de N acelera o crescimento, pois nas duas cultivares os valores de b e x_0 são menores nos tratamentos com adubação nitrogenada. Isto se confirma quando observamos a TCA e a TCR na Figura 11 onde os tratamentos que receberam adubação nitrogenada tiveram uma maior TCA, e inicialmente maior TCR. Ilustrando como o aporte de nitrogênio contribui para o crescimento vegetativo. Conhecendo melhor o crescimento da cultura e como ele é afetado pelo suprimento de N, pode-se criar metas a serem atingidas, assim teríamos um parâmetro importante para auxiliar na recomendação de adubação nitrogenada.

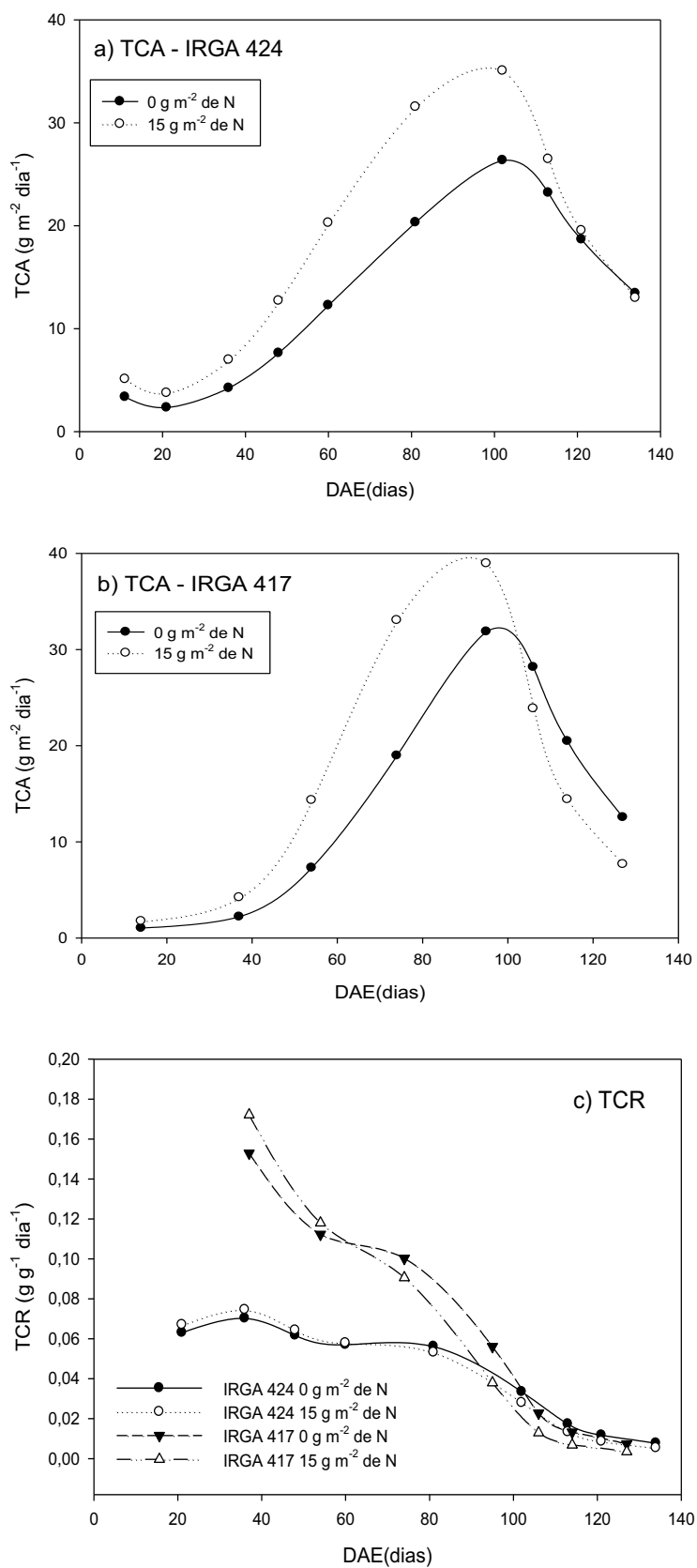


Figura 11: Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) para as cultivares IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) e Taxa de Crescimento Relativo (TCR) para ambas cultivares (c) submetidas a dois níveis de nitrogênio zero e 15 g m⁻², em relação ao tempo.

A diferença entre as Taxas de Crescimento Relativo (TCR) existente entre as duas cultivares (Figura 11-c), é bastante expressiva chegando a ser duas vezes maior na IRGA 417 no início do ciclo. De maneira que a cultivar IRGA 417 tem maior TCR nas duas doses de nitrogênio, e maior TCA quando comparadas com a IRGA 424 na mesma dose de N. Mesmo tendo uma MSPA menor a cultivar IRGA 417 necessita ter uma taxa de crescimento maior devido ao ciclo reduzido. Quando se compara as taxas de crescimento obtidas com as apresentadas por Alvarez; Crusciol; Nascente (2012) nota-se que as duas cultivares apresentam TCA maior, sendo que a IRGA 417 atinge o dobro do valor apresentado por este autor. A TCR também são superiores nas duas cultivares testadas, porém a IRGA 424 tem uma TCR de mesma magnitude, levemente superior as apresentadas por Alvarez; Crusciol; Nascente (2012).

4.1.2.2 Matéria Seca da Panícula

O acúmulo de Matéria Seca na Panícula (MSP) define o quanto de fotoassimilados e nutrientes são de fato destinados ao crescimento da panícula. E o conhecimento desta medida é muito importante quando estamos estudando a nutrição das plantas, já que não basta que o estado nutricional da planta permita um alto acúmulo de MSPA, se esta não for transferida significativamente para a panícula, que é de fato o órgão que define a produtividade. Assim neste item vamos discutir os efeitos da adubação nitrogenada no crescimento da panícula.

Para definição do padrão de crescimento da panícula no tempo, foram ajustadas funções a partir da Equação 1, da mesma forma que para MSPA. De forma que na Figura 12 são mostradas as funções obtidas e as médias dos dados utilizados. No Apêndice B podemos notar que a equação proporcionou um ajuste, apresentando alto índice de significância a menos de 0,01% pelo teste F para os modelos. A maioria dos coeficientes apresentou significância a menos de 0,01% pelo teste t, com exceção dos coeficientes b da IRGA 417 (com N) e da IRGA 424 (sem N) que foram significativos a 1% e o b da IRGA 417 (sem n) que teve significância a 19% de probabilidade. Apresentando coeficientes de determinação a partir de 0,90. Ao observar a figura também notamos que a função não descreveu bem o início do crescimento da panícula na cultivar IRGA 417 e na cultivar IRGA 424 no tratamento sem aplicação de N. Nestes casos a função não apresentou um bom ajuste devido ao fato de que o crescimento ocorreu em uma taxa muito alta e rapidamente atingiu o patamar previsto pelos respectivos parâmetros a , prejudicando o ajuste no início do crescimento que é mais lento. Pelo fato da translocação de nutrientes e fotoassimilados ter ocorrido muito rapidamente a parâmetro b ficou com um valor muito baixo prejudicando seu ajuste Para melhorar o ajuste dessas funções seria necessária a utilização de uma equação com pelo menos mais um parâmetro, para definir melhor o início do crescimento.

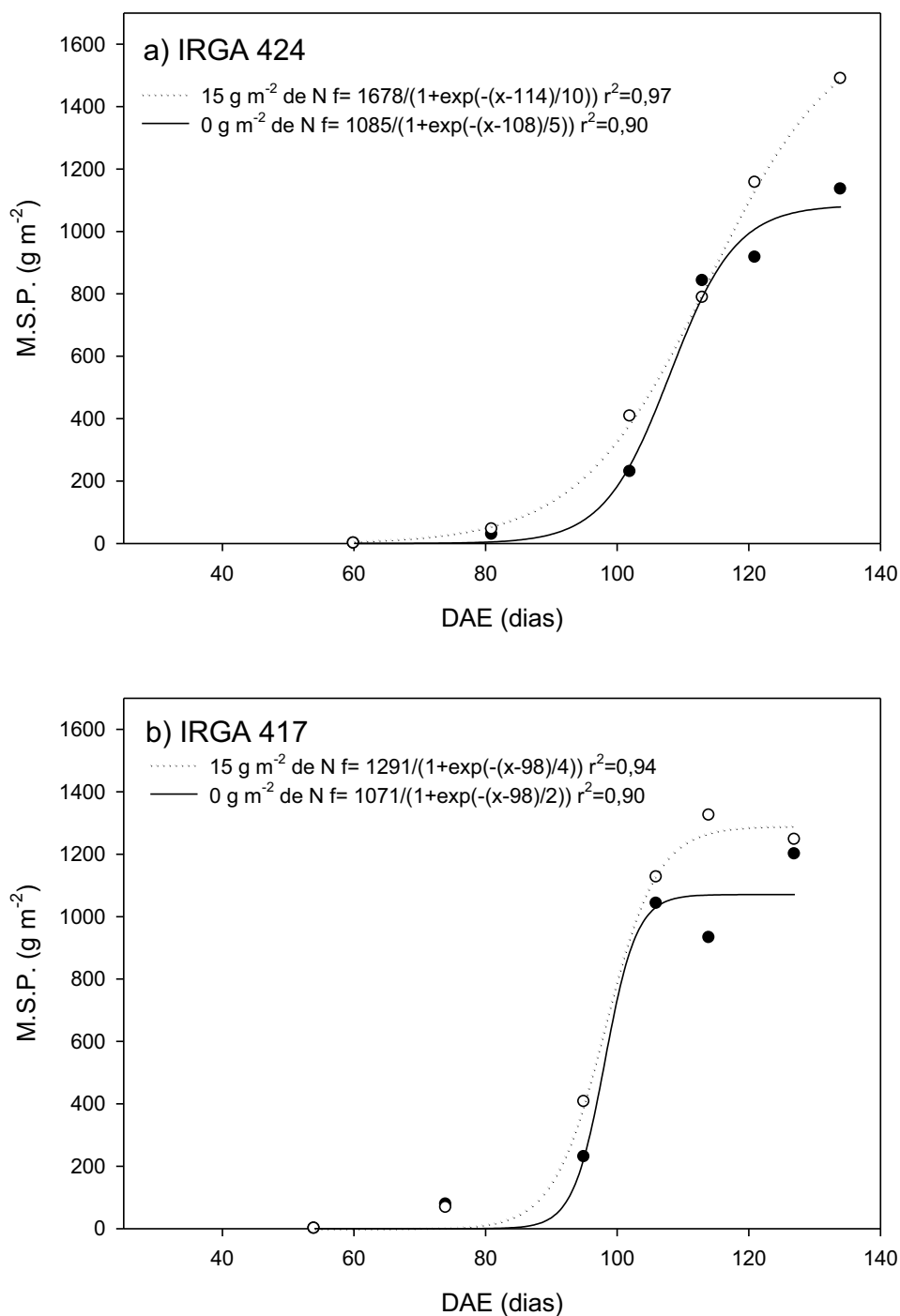


Figura 12: Variação temporal a Matéria Seca da Panícula (MSP), para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m⁻² (○).

A resposta à adubação nitrogenada em crescimento da panícula foi maior na cultivar IRGA 424, como podemos ver na Figura 12, esta cultivar atingiu MSP maiores que a IRGA 417 quando comparadas num mesmo nível de N, e também apresentou um maior acréscimo na MSP quando comparados os tratamentos com e sem aplicação de nitrogênio. Este maior acréscimo de MSP não proporcionou um maior acréscimo na produtividade. O acréscimo na massa de panículas foi maior na cultivar IRGA 424, isto pode ser devido ao fato desta cultivar continuar perfilhando praticamente até o fim do ciclo no tratamento com aplicação de N, gerando sempre novas panículas. Este comportamento no tratamento da cultivar IRGA 424 com 15 g m^{-2} de N pode ser observado na Figura 12-a, onde a curva de acúmulo de MSP não atinge um patamar no fim do ciclo como os outros tratamentos, continuando com acréscimo de massa na panícula até o fim do ciclo. Mas a maioria das panículas geradas no fim do ciclo não contribui para a massa de grãos.

Uma diferença bastante contrastante entre as cultivares é referente à Taxa de Crescimento Absoluto da panícula que foi bem maior na cultivar IRGA 417 proporcionando um acréscimo muito rápido na MSP como podemos observar na Figura 9, porém com um tempo de oportunidade menor que a cultivar IRGA 424, atingindo assim uma massa de panículas menor. O mesmo comportamento ocorre em relação ao suprimento de N, sem o suprimento de N as cultivares apresentaram uma TCA da panícula maior, mas com menor tempo de oportunidade gerando uma menor massa de panículas.

A cultivar IRGA 417 no período de maior taxa de crescimento chegou acumular 76% da MSP em um período de onze dias e atinge no fim do ciclo 1071 g m^{-2} no tratamento sem aplicação de nitrogênio. Com parâmetro $b = 2$ muito baixo ocasionando uma alta TCA, mas durante pouco tempo. E o fator $a = 1071$, mostrando que a MSP atingiu o patamar indicado no parâmetro, tendo assim seu crescimento previsto ao longo do tempo cessado. Já no tratamento com a aplicação de N, neste mesmo período o crescimento foi referente a 57% ($b = 4$) do total de 1268 g m^{-2} ($a = 1291$), de forma que o período com alto crescimento foi em torno de 7 dias sem aplicação de N e 12 dias com aplicação de N. No

parâmetro x_0 não houve variação entre os tratamentos de N sendo estes iguais a 98, como os dois tratamentos atingiram os patamares previstos pelas funções significa que atingiram o fim do ciclo. Desta forma, podemos afirmar que a metade do acúmulo de MSP foi atingida aos 98 DAE nos tratamentos com e sem aporte de N na cultivar IRGA 417 e que a aplicação de N não gerou alteração no ciclo da cultura.

Na cultivar IRGA 424 o crescimento da panícula também ocorreu rapidamente, mas não tanto quanto na cultivar IRGA 417. No tratamento sem nitrogênio a cultivar IRGA 424 apresentou um acréscimo de 57% na MSP em um período de onze dias com o ajuste do parâmetro $b = 5$, mantendo a taxa de crescimento alta durante um período de aproximadamente 13 dias. A produção final de MSP foi de 1079 g m^{-2} com um ajuste para o parâmetro a de 1085, indicando que a função atingiu o patamar máximo previsto. No tratamento com a aplicação de 15 g m^{-2} de N a resposta foi diferenciada gerando uma função com um parâmetro $b = 10$ maior que em todos os outros tratamentos, gerando uma baixa taxa de crescimento. Comparando o mesmo período de onze dias considerado nos outros tratamentos, neste o acréscimo foi referente a apenas 26% da MSP final, mas o tempo de oportunidade de crescimento a uma alta taxa foi prolongado por cerca de vinte cinco dias. Atingindo uma MSP no final do ciclo de 1478 g m^{-2} com um parâmetro $a = 1678$. Indicando que a cultivar não atingiu um patamar de MSP e que talvez se fosse realizada mais uma coleta ela aumentaria ainda mais a MSP, representando que a cultivar sofreu um prolongamento do ciclo com a aplicação do N. A diferença entre os parâmetros b das funções nos tratamentos com e sem N, na cultivar IRGA 424, reforçam a tendência do efeito do N no prolongamento do ciclo. Já que o tratamento sem N tem um $b = 108$ e o com aplicação de N tem um $b = 114$ representando uma diferença de seis dias para atingir metade da MSP e conseqüentemente o mesmo tempo de diferença de ciclo.

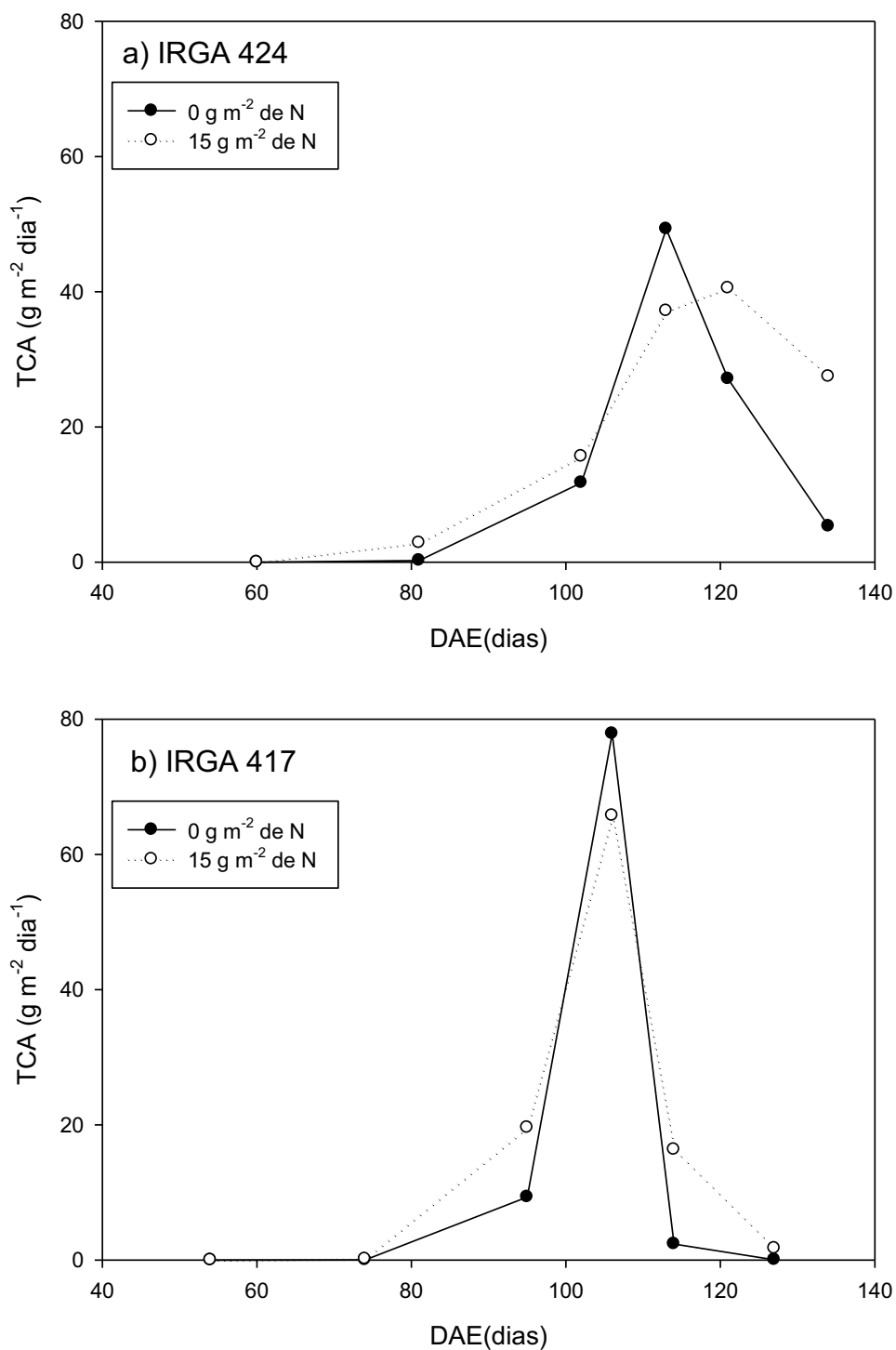


Figura 13: Variação temporal da Taxa de Crescimento Absoluto da Panícula, para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m⁻² (○).

4.1.3 Nitrogênio Absorvido

4.1.3.1 Nitrogênio acumulado na parte aérea

Neste item iremos tratar sobre a acumulação, taxa de absorção e a eficiência do nitrogênio, para as cultivares IRGA 424 e IRGA 417 submetidas aos níveis 0 e 15 g m⁻². Através da relação entre o NAT e o tempo temos a Marcha de Absorção do N, que é muito útil para entendermos como funciona a absorção de nitrogênio durante o ciclo, e desta maneira, saber as demandas necessárias pelas plantas e a capacidade de absorção delas. Para analisar a Marcha de Absorção foram ajustadas funções a partir da Equação 1, tais funções e as médias das coletas são apresentadas na Figura 10. Como podemos notar no Apêndice C, os ajustes das curvas foram altamente significativos, os modelos apresentaram significância ao nível de 0,01% pelo teste F. Os coeficientes foram testados através do teste t e apresentaram significância ao nível de 0,01% exceto os parâmetros *b* que apresentaram significância a 1%, com coeficientes de determinação variando entre 0,83 a 0,90.

Assim como nas outras variáveis analisadas o acúmulo de N foi mais rápido na cultivar IRGA 417 que na cultivar IRGA 424 quando comparadas em um mesmo nível de N, como ilustra a Figura 14. Nota-se que a cultivar IRGA 417 tem parâmetros *b* e *x*₀ menores que a IRGA 424 indicando que a acumulação de N na biomassa ocorre de forma mais rápida na IRGA 417. Resultando em uma Taxa de Acumulação Absoluta (TAA) maior na cultivar IRGA417, enquanto a IRGA 424 tem maior tempo de oportunidade de absorver N (Figura 15-a e 15-b). Assim o Nitrogênio Acumulado Total (NAT) não foi definido por nenhum desses fatores, já que no nível zero de N o NAT foi maior na cultivar IRGA 417 e no nível 15 g m⁻² de N foi maior na IRGA 424 (Tabela 5), os parâmetros *a* das equações que definiu as maiores produtividades. O acréscimo no NAT, causado pela adubação nitrogenada, foi bem maior na cultivar IRGA 424 (Figura 14) que por este fato obteve uma Recuperação Aparente de Nitrogênio (RAN) de 93%, enquanto a cultivar IRGA 417 atingiu uma RAN de 57% (Tabela 5). Quando comparamos as RAN obtidas neste

trabalho com as apresentadas por Borin, *et. al.* (2013), utilizando a cultivar IRGA 424, encontramos resultados semelhantes que tem como média de 80%, variando entre 49 e 138%. Porém Fageria; Santos; Cutrim (2007) alcançaram em arroz de sequeiro RAN mais baixas variando entre 23 e 37% com uma média de 29%. Esta alta Recuperação Aparente de Nitrogênio na cultivar IRGA 424 no presente trabalho ocorreu devido ao acréscimo na Área Superficial de Raiz (ASR), causado pela adubação nitrogenada (Figura 9). Desta maneira o nitrogênio absorvido a mais pelo tratamento com adubação nitrogenada não provem somente da absorção do N aplicado, mas também do nitrogênio disponibilizado pelo solo. Já que a maior ASR permite que a cultivar IRGA 424 explore melhor os recursos disponíveis no solo, conseqüentemente absorvendo mais nitrogênio. Além das raízes o aumento da área foliar (Figura 8) também pode contribuir para o aumento da absorção de N, pois com seu acréscimo a planta tem uma maior transpiração, gerando um maior fluxo de massa do nutriente.

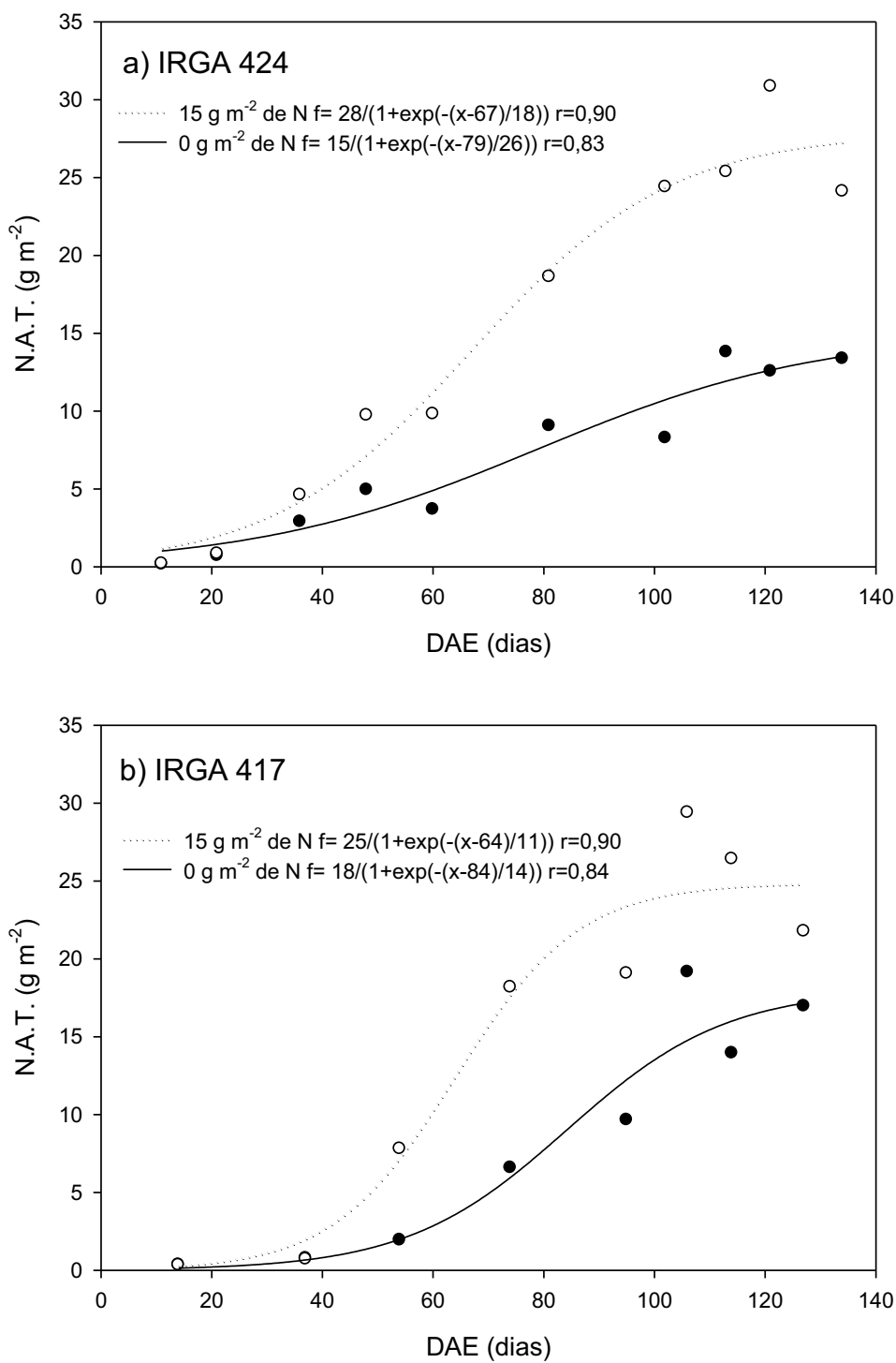


Figura 14: Variação do Nitrogênio Acumulado Total (NAT) durante o ciclo das cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m⁻² (○).

Tabela 6: Produtividade de grãos (Prod.), Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA), Nitrogênio Acumulado Total (NAT), Recuperação Aparente de Nitrogênio (RAN), Eficiência de Utilização de Nitrogênio (EUN), Eficiência Fisiológica de Utilização de Nitrogênio (EFUN), e Eficiência Agronômica de Utilização de Nitrogênio (EAUN) para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 e IRGA 417 submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero e 15 g m⁻². Os Valores de MSPA, NAT, N%, RAN, EUN e EFUN foram estimados na maturação fisiológica a partir dos modelos previamente ajustados.

Cultivar	Dose N	Prod	MSPA	NAT	N%	RAN	EUN	EFUN	EAUN
		(g m ⁻²)			%	%		(g g ⁻¹)	
417	0	710	1727	16,2	0,81	--	106	44	--
	15	1011	2232	24,8	1,26	57	90	41	20,1
424	0	946	1899	13,3	0,76	--	143	71	--
	15	1164	2588	27,3	1,19	93	95	43	14,6

A Eficiência de Utilização (EUN) e a Eficiência Fisiológica de Utilização do Nitrogênio (EFUN) foram maiores nos tratamentos que não receberam N, por existir menos nitrogênio disponível as plantas utilizaram da melhor forma este nutriente. Assim nos tratamento sem adubação nitrogenada as plantas produziram mais biomassa e mais grãos com uma mesma quantidade de nitrogênio como ocorreu com Mariot, *et. al.* (2003) na EUN. Dentre os tratamentos sem adubação nitrogenada cultivar IRGA 424 se destacou com EUN e EFUN maior, chegando a produzir 143 g de MSPA e 71 g de grãos por grama de N, chegando a uma concentração muito baixa no fim do ciclo, de 0,76% de N na MSPA (Tabela 6). Nos tratamento com N a EUN e a EFUN foram levemente maiores na cultivar IRGA 424, mesmo que esta cultivar tenha perdido muita eficiência com a aplicação de N, continuou sendo mais eficiente que a IRGA 417, que teve uma queda pequena na eficiência com a utilização de N (Tabela 6). A EFUN apresentada por Borin, *et. al.* (2013) são maiores que as encontradas neste trabalho, estes autores encontraram uma média de 70 g de grãos g⁻¹ de N variando entre 46 e 112 g g⁻¹. Mariot, *et. al.* (2003) encontrou na EUN valores ligeiramente mais baixos que os apresentados na Tabela 6, apresentando valores entre 75 e 100 gramas de MSPA por grama de NAT.

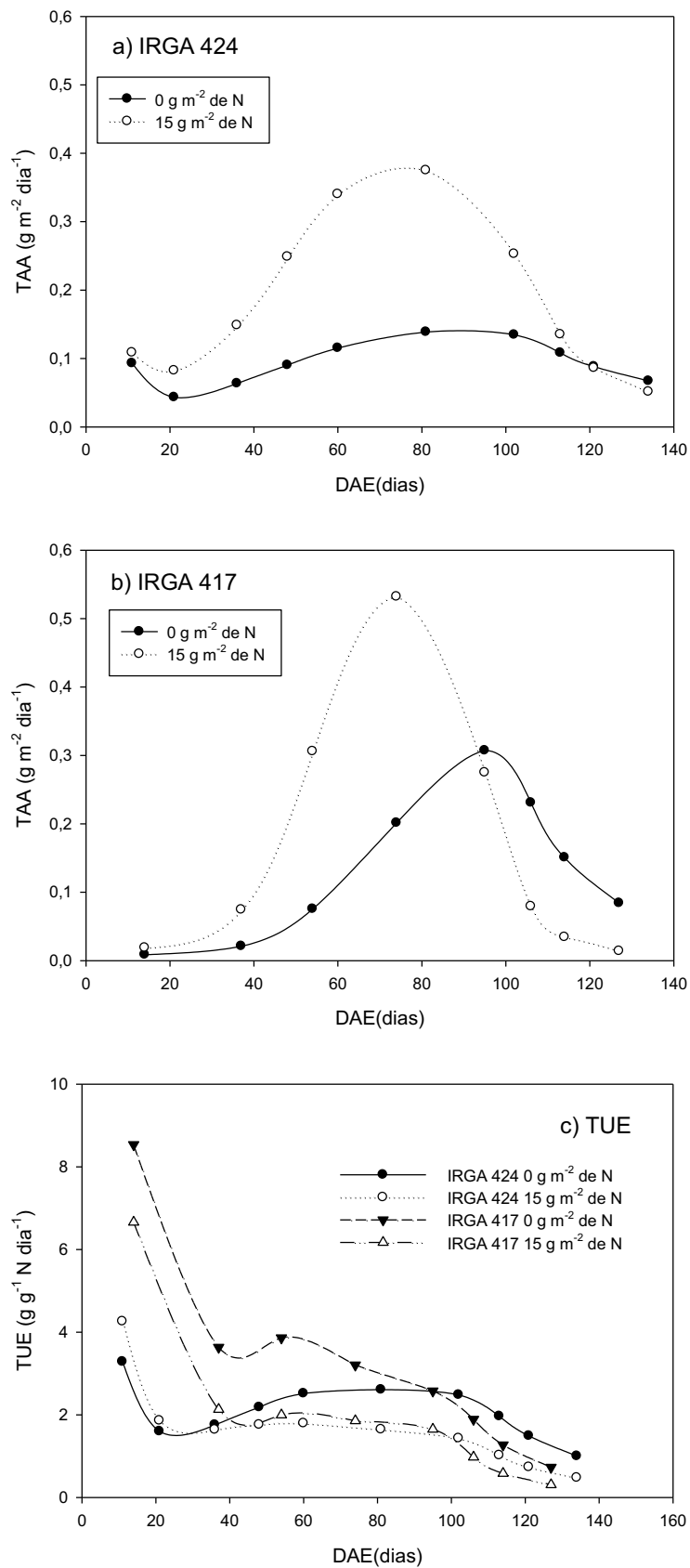


Figura 15: Taxa de Absorção Absoluta e Taxa de Utilização Efetiva (c) para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (\bullet) e 15 g m^{-2} (\circ).

A Eficiência Agronômica de Utilização do Nitrogênio (EAUN) foi maior na cultivar IRGA 417 sendo de 20 g de grãos por g de N e 14,6 g g⁻¹ na IRGA 424, mesmo tendo uma produtividade menor a IRGA 417 apresentou um ganho maior na produtividade por fração de N aplicada. A Taxa de Utilização Efetiva (TUE) mostrada na Figura 15 ilustra quantas gramas são assimiladas por unidade de N por dia, sendo inicialmente maiores na cultivar IRGA 417 e, no final do ciclo, entre os tratamentos com mesmo nível de N a IRGA 424 obteve uma taxa maior. As EAUN deste trabalho são superiores as apresentadas por Lopes, S. I. G., *et. al.* (1996), Lopes S. I. G., *et. al.* (2000) e Lopes, M. S., *et. al.* (2000), que foram respectivamente 11,8, 4,68 e 9,99 gramas de grãos por grama de N. São semelhantes às encontradas por Fageria; Santos; Cutrim (2007) e Borin, *et. al.* (2013). Mas são baixas quando comparadas as apresentadas por Schoenfeld, *et. al.* (2013) que obtiveram 41, 44 e 50 g grãos g N⁻¹, aplicando o N em 1, 2 ou 3 vezes respectivamente.

4.1.3.2 Nitrogênio acumulado na panícula

A acumulação de N na panícula também teve as funções ajustadas através da Equação 1, os ajustes obtidos foram altamente significativos como podemos notar no Apêndice D, os ajustes das curvas foram altamente significativos, os modelos apresentaram significância ao nível de 0,01% pelo teste F. Os coeficientes foram testados através do teste t e apresentaram significância ao nível de 0,01% exceto os parâmetros b que apresentaram significância a 1%. Com coeficientes de determinação entre 0,87 e 0,94 como podemos observar na Figura 12 que ilustra as funções ajustadas e as médias das repetições de cada tempo. O comportamento das cultivares referente à resposta no acúmulo de N na panícula a aplicação de nitrogênio, foi muito semelhante à resposta na acumulação de MSP.

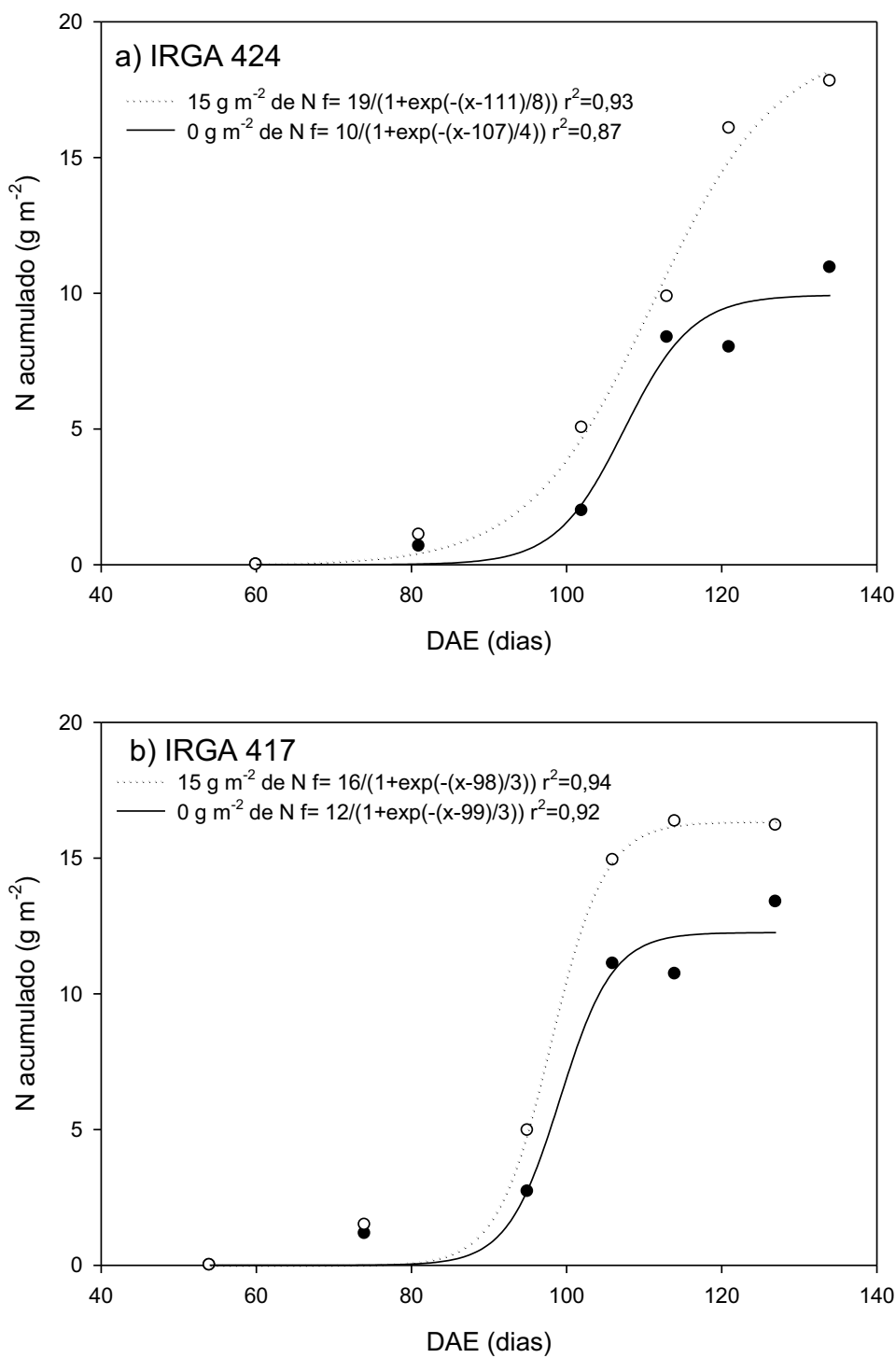


Figura 16: Relação entre o nitrogênio acumulado na panícula e o tempo, para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m⁻² (○).

4.1.4 Teor de Nitrogênio na parte aérea

O teor de N foi avaliado no decorrer do ciclo, assim obtivemos a diluição do N ao longo do tempo e para descrever este comportamento foi utilizada a Equação 11 para ajustar as funções de cada tratamento. Os ajustes foram bons, os modelos foram significativos ao nível de 0,01% pelo teste F, os coeficientes também foram significativos ao nível de 0,01% pelo teste t (Apêndice E), apresentando um coeficiente de determinação entre 0,85 e 0,97 (Figura 13).

Os teores iniciais foram relativamente baixos sendo 3,55 e 3,15% na cultivar IRGA 417 com e sem nitrogênio, respectivamente. E na cultivar IRGA 424 os teores iniciais foram 4,33 e 4,13% com e sem aplicação de N, respectivamente. Os tratamentos sem N tiveram um decaimento mais rápido e atingiram níveis muito baixos de N no tecido, segundo a curva ajustada, a cultivar IRGA 424 atingiu uma concentração de 0,75% e a IRGA 417 chegou a 0,81% no final do ciclo. Quando houve o suprimento adequado de N, as concentrações de acordo com a função ajustada foram de 1,18 e 1,26% de N para as cultivares IRGA 424 e IRGA 417 respectivamente, muito semelhante aos valores encontrados em Witt, *et. al.* (1999) na Ásia, Fageria e Prabhu (2004) no Brasil Central e Mueller (1980) no sul do Rio Grande do Sul para a produtividade máxima. Nota-se uma pequena diferença entre os teores das cultivares, sendo a IRGA 417 com teor pouco maior nos dois níveis de N.

As curvas ajustadas mostram que a Cultivar IRGA 424 apresentou maior concentração inicial de N no tecido, nos dois tratamentos, em relação a Cultivar IRGA 417 (dado pelo maior valor do parâmetro a). Ao final do ciclo, observa-se tendência da Cultivar IRGA 417 apresentar maior concentração de N do que a Cultivar IRGA 424, estabilizando em valores absolutos ligeiramente maiores, conforme mostram os valores do parâmetro b do modelo.

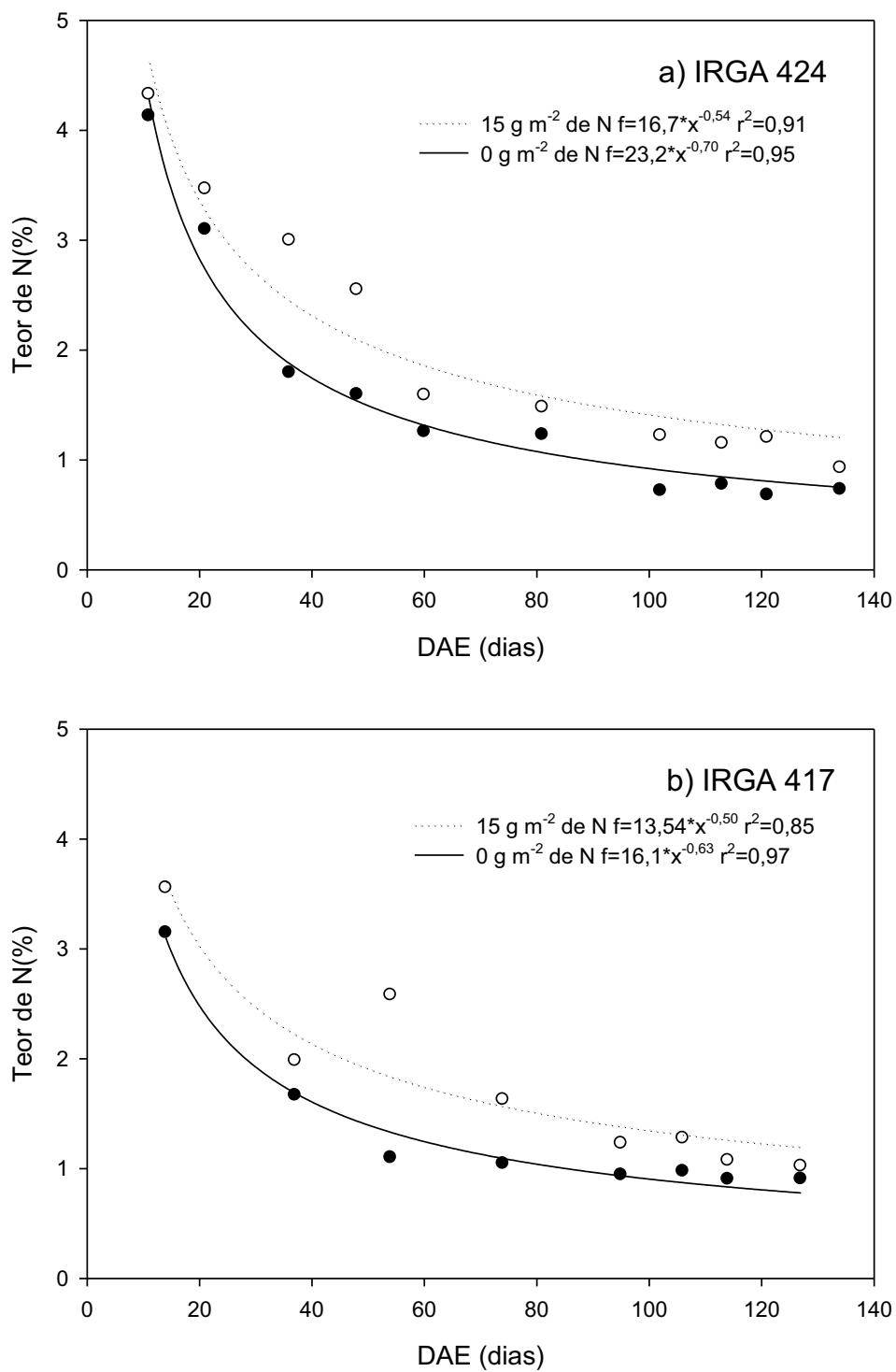


Figura 17: Variação temporal do teor de nitrogênio da parte aérea total, para as cultivares de arroz irrigado IRGA 424 (a) e IRGA 417 (b) submetidas a dois níveis de nitrogênio: zero (●) e 15 g m⁻² (○).

5 Conclusão

Com o exposto quando se compara as duas cultivares em estudo, IRGA 424 e IRGA 417, pode-se concluir que a cultivar IRGA 424 é mais apta a explorar os recursos do meio por ter maior área foliar, maior superfície de raízes e mais tempo de oportunidade de explorar o meio. E, além disso, quando submetida à adubação nitrogenada, sua capacidade de explorar o meio aumenta mais que a IRGA 417 em termos absolutos. Também é possível afirmar que a IRGA 424 demanda menos N por unidade de MST, isto é confirmado com o teor final do tecido e os dados de Eficiência de Utilização de Nitrogênio e Eficiência Fisiológica de Utilização de Nitrogênio. Então, mesmo com uma exigência quantitativa maior de N a cultivar IRGA 424 não necessita receber uma quantidade maior de fertilizante nitrogenado, pois esta compensa através da maior absorção e eficiência do N. Confirmando a hipótese do trabalho, mostrando que apesar da cultivar IRGA 424 ter uma exigência quantitativa de nitrogênio maior, não é necessário aplicar mais adubo nitrogenado para atender esta demanda, pois a cultivar IRGA 424 absorve mais nitrogênio devido ao seu maior sistema radicular.

Quando comparamos a produtividade a cultivar IRGA 417 apresentou maior eficiência na utilização do nitrogênio, pois apresentou um maior acréscimo na produtividade por unidade de nitrogênio aplicado.

Mas quando comparamos o acúmulo de Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA), o Nitrogênio Acumulado Total (NAT), o Índice de Área Foliar (IAF) e a Área Superficial Raiz (ASR) a cultivar IRGA 424 teve um melhor aproveitamento do nitrogênio.

Para estudos posteriores seria interessante investigar as causas da cultivar IRGA 424 ter respondido melhor no acúmulo de Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA), no Nitrogênio Acumulado Total (NAT), no Índice de Área Foliar (IAF) e na Área Superficial Raiz (ASR) e não ter respondido mais do que a IRGA424 na produtividade de grãos. Investigar também a origem do aporte de nitrogênio nas altas produtividades obtidas sem adubação nitrogenada. Realizar curvas de respostas para cada uma das cultivares mais utilizadas atualmente.

6 Bibliografia

ALVAREZ, R. C. F. *et. al.* Marcha de absorção de nitrogênio de cultivares de arroz de terras altas com diferentes tipos de plantas. **Científica**: Jaboticabal, v.34, n.2, p. 162-169, 2005.

ALVAREZ, R. C. F.; CRUSCIOL, C. A.; NASCENTE, A. S. Análise de crescimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas dos tipos tradicional, intermediário e moderno. **Pesq. Agropec. Trop.** Goiânia, v. 42, n.4. p. 397-406, out./dez. 2012.

BARBER, S. A. **Soil Nutrient Bioavailability**: a mechanistic approach. United States of America: John Wiley, 1995.

BORIN, J. B. M. *et. al.* Eficiência do uso do nitrogênio e produtividade do arroz, afetados pelo manejo da água de irrigação em gleinossolo háplico. **VIII Congresso Brasileiro do Arroz Irrigado**. Santa Maria, 2013.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO, C.F.S. RS/SC. **Recomendações de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Passo Fundo: Comissão de Fertilidade do Solo, 1995. ISBN CDD 631.422.

CONAB. **Compania Nacional de Abastecimento**, Abril 2014. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 22 Abril 2014.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, 40, p. 436-443, 2000.

EBERHARDT, D. ; DA SILVA, P. R. F.; RIEFFEL NETO, S. Eficiência de absorção e utilização de nitrogênio por plantas de arroz e de dois ecótipos de arroz vermelho. **Planta Daninha**. v: 17, n. 2, p. 309-323, 1999.

EMBRAPA. XVI Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, Florianópolis, 1991.

EMBRAPA. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. 1ª. ed. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2004.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas - princípios e perspectivas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1975.

FAGERIA, N. K.; PRABHU, A. S.. Controle de brusone e manejo de nitrogênio em cultivo de arroz irrigado. **Embrapa Arroz e Feijão**, Brasília, 39, n. 2, p. 123-129. 2004.

FAGERIA, N. K.; SANTOS, A.; CUTRIM, V. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 1029-1034, julho 2007.

FRANÇA, M. G. C. *et. al.* Relações entre crescimento vegetativo e acúmulo de nitrogênio em duas cultivares de arroz com arquiteturas contrastantes. **Acta Botânica Brasílica**. v.22, n.1, p. 43-49, 2008.

FREITAS, J. G. *et. al.* Resposta de cultivares de arroz irrigado ao nitrogênio. **Scientia Agricola**. v. 58, n.3, p. 573-579, 2001.

FREITAS, T. F. *et. al.* Produtividade de arroz irrigado e eficiência da adubação nitrogenada influenciada pela época da semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2397-2405, Novembro-Dezembro 2008. ISSN 0100-0683.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of Experimental Botany**. v.53, n.370, p. 789-799, 2002.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em 03 nov. 2014.

IRGA. **Instituto Riograndense do Arroz**, 2011. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/uploads/1318871736PRODARRS___serie_historica.pdf>. Acesso em: 25 out. 2012.

KLERING, E. V. *et. al.* Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 43, n. 5, p. 549-558. 2008.

KNOBLAUCH, R. **Disponibilidade de Nutrientes para o Arroz Irrigado por Inundação em Solos Orgânicos de Várzea do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas , 1994.

LIN, X. Q. *et. al.* Effect of plant densit and nitrogen fertilizer rates on grain yield and nitrogen uptake of hybrid rice. **Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development**, v. 1, p. 44-53, 2009.

LOPES, M. B. S. *et. al.* Resposta de cultivares de arroz à adubação nitrogenada em solos arenosos de várzea tropical. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró – RN, v. 8, p. 86 - 92, Dezembro 2013. ISSN 1981-8203.

LOPES, M. S. *et. al.* Curva de resposta à aplicação de nitrogênio para cinco linhagens e três cultivares de arroz irrigado. **Relatório Anual de Pesquisa, 1998 - IRGA**, Cachoeirinha, 2000.

LOPES, S. I. G. *et. al.* Resposta à aplicação de nitrogênio de quatro linhagens e quatro cultivares de arroz irrigado. **Relatório Anual de Pesquisa, 1997 - IRGA**, Cachoeirinha, 2000.

LOPES, S. I. G.; *et. al.* Curva de resposta á aplicação de nitrogênio nas cultivares IRGA 416 e Colombiano em Uruguaiana. **Relatório Anual de Pesquisa 1994 - IRGA**, Cachoeirinha, 1996.

LOPES, S. I. G.; LOPES, M. S. Curva de resposta à aplicação de nitrogênio em quatro genótipos de arroz irrigado, safra 1993/94. **Relatório Anual de Pesquisa, 1994 - IRGA**, Cachoeirinha, 1996.

LOPES, S. I. G. **Eficiência de adubação potássica e distribuição radicular do arroz irrigado**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991.

MALAVOLTA, E. *et. al.* Estudo sobre a nutrição mineral do arroz - XXII: Exigências nutricionais da variedade L-45 cultivada em solução nutritiva. **Anais da E. S. A. "Luiz de Queiroz"**. v. 40, p. 891-920, 1983.

MARIOT, C. *et. al.* Resposta de duas cultivares de arroz irrigado à densidade de semeadura e à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 233-241, fevereiro 2003.

MATSUO, T. **Science of the Rice Plante**. Tokyo: Food and Agricultural Policy Research Center, 1995. ISBN 4-540-94051-1.

MUELLER, S. **Influência da adubação nitrogenada sobre o rendimento e outros parâmetros de três cultivares de arroz irrigado**. Pelotas - RS: Universidade Federal de Pelotas, 1980.

MURATA, Y. Physiological response to nitrogen in plants. In: EASTIN, J. D. **Physiological aspects of crop yield**. Madison: American Society of Agronomy, 1969.

PASSOS, N. G. D.; SILVA, J.; FIDELIS, R. R. **Eficiência no uso de nitrogênio de genótipos de arroz em solos de várzea úmida do estado do Tocantins**. 8º Seminário de Iniciação Científica UFT. Palmas: Universidade Federal do Tocantins, 2012.

POCOJESKI, E. **Disponibilidade do nitrogênio em solos de várzea e parâmetros da planta para avaliação nutricional da cultura do arroz**. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

REDDY, R.; DELAUNE, R. D. **Biogeochemistry of wetlands: science and applications**. [S.l.]: CRC, 2008. ISBN 978-1-56670-678-0.

REIS, M. D. S. *et. al.* Absorção de N, P, K, Ca, Mg e S pelo arroz irrigado influenciada pela adubação nitrogenada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 707-713, Julho/agosto 2005.

RHODEN, A. *et. al.* Mineralização anaeróbia do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1780-1787, nov/dez 2006.

RODRIGUES, L. A. T. *et. al.* Doses e formas de aplicação da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado por inundação. **VIII Congresso Brasileiro do Arroz Irrigado**, Santa Maria, v.2, p. 900-903, agosto 2013.

RODRIGUES, L. A. T. *et. al.* Efeito de doses e formas de aplicação da adubação nitrogenada no rendimento do arroz irrigado por inundação. **VIII Congresso Brasileiro do Arroz Irrigado**, Santa Maria, v.2, p. 904-907, agosto 2013.

SBCS. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

SCHOENFELD, R. *et. al.* Produtividade do arroz irrigado e eficiência da adubação nitrogenada influenciada pela dose e pelo fracionamento da aplicação. **VIII Congresso Brasileiro do Arroz Irrigado**, Santa Maria, v.2, p. 782-785, agosto 2013.

SCHOENFELD, R. *et. al.* Resposta das cultivares PUITÁ INTA-CL e GURI INTA-CL a níveis de adubação. **VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, Santa Maria, v.2, p. 786-788, agosto 2013.

SHEEHY, J. E. *et. al.* Critical nitrogen concentrations: implications for high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in the tropics. **Field Crops Research**, 1998.

SILVA, L.; BOHNEN, H. M. E.; MACEDO, V. P. E. Resposta à doses de nitrogênio e avaliação do estado nutricional do arroz irrigado. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 13, p. 189-194, 2007.

SOSBAI. **Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado**, Porto Alegre: Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado, 2003.

SOSBAI. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Cultura para o Sul do Brasil**. Santa Maria-RS: Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado, 2005.

SOSBAI. **Arroz Irrigado: Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil. V Congresso Brasileiro do Arroz e XXVI Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado**, Pelotas: Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado, 2007.

SOSBAI. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Cultura para o Sul do Brasil**. Itajaí - SC: Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado, 2012.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A.; VAHL, L. C. Solos alagados (reações de redox). In: MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. 4ª. ed. Porto Alegre: Evangraf LTDA, p. 171-191, 2010.

STRECK, E. V. E. A. *et. al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª. ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008.

TAIZ, L. *et. al.* **Fisiologia vegetal**. 4ª. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TEDESCO, M. J. *et. al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, South Perth, Australia, 63, Novembro 1975.

VAHL, L. C. **Disponibilidade de Nutrientes para o Arroz Irrigado por Alagamento em Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1982.

VALE, M. L. C. **Avaliação de um modelo logístico para descrever a volatilização da amônia da uréia aplicada ao solo**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2011.

WADT, P. G. *et. al.* Padrões nutricionais para lavouras arrozeiras irrigadas por inundação pelos métodos da CND e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 37, p. 145-156, novembro 2012.

WANG, Q. *et. al.* Head rice yield of "super" hybrid rice liangyoupeijiu grown under different nitrogen rates. **Field Crops Research**, p. 71-79, 2012.

WITT, C. *et. al.* Internal Nutrient efficiencies of irrigated lowland rice tropical and subtropical Asia. **Field Crops Research**, 1999.

YOSHIDA, H.; HORIE, T.. A process model for explaining genotypic and environmental variation in growth and yield of rice based on. **Field Crops Research**, Japan, 2009.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of Rice Crop Science**. Los Baños, Filipenas: The International Rice Research Institute, 1981.

Apêndices

Apêndice A - Modelos e coeficientes ajustados para descrever a relação entre a Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e o tempo. E seus respectivos valores de P testados para os modelos pelo teste F e para os coeficientes pelo teste t.

Tratamentos		Modelo	P	Coeficientes					
Cultivar	Dose de N (g m ⁻²)	$f = a/(1 + \exp(-(x - x_0)/b))$		a	P	b	P	x ₀	P
IRGA 417	0	$f = 2013/(1 + \exp(-(x - 88)/15))$	<0,0001	2013	<0,0001	15	0,0020	88	<0,0001
IRGA 417	15	$f = 2391/(1 + \exp(-(x - 78)/14))$	<0,0001	2391	<0,0001	14	0,0002	78	<0,0001
IRGA 424	0	$f = 2156/(1 + \exp(-(x - 92)/20))$	<0,0001	2156	<0,0001	20	<0,0001	92	<0,0001
IRGA 424	15	$f = 2806/(1 + \exp(-(x - 85)/19))$	<0,0001	2806	<0,0001	19	<0,0001	85	<0,0001

Apêndice B - Modelos e coeficientes ajustados para descrever a relação entre a Matéria Seca da Panícula (MSP) e o tempo. E seus respectivos valores de P testados para os modelos pelo teste F e para os coeficientes pelo teste t.

Tratamentos		Modelo	P	Coeficientes					
Cultivar	Dose de N (g m ⁻²)	$f = a/(1 + \exp(-(x - x_0)/b))$		a	P	b	P	x ₀	P
IRGA 417	0	$f = 1071/(1 + \exp(-(x - 98)/2,4))$	<0,0001	1071	<0,0001	2,4	0,1867	98	<0,0001
IRGA 417	15	$f = 1291/(1 + \exp(-(x - 98)/3,9))$	<0,0001	1291	<0,0001	3,9	0,0062	98	<0,0001
IRGA 424	0	$f = 1085/(1 + \exp(-(x - 108)/5,0))$	<0,0001	1085	<0,0001	5	0,0049	108	<0,0001
IRGA 424	15	$f = 1678/(1 + \exp(-(x - 114)/9,7))$	<0,0001	1678	<0,0001	9,7	<0,0001	113	<0,0001

Apêndice C - Modelos e coeficientes ajustados para descrever a relação entre o Nitrogênio Total Acumulado (NAT) e o tempo. E seus respectivos valores de P testados para os modelos pelo teste F e para os coeficientes pelo teste t.

Tratamentos		Modelo	P	Coeficientes					
Cultivar	Dose de N (g m ⁻²)	$f = a/(1 + \exp(-(x - x_0)/b))$		a	P	b	P	x ₀	P
IRGA 417	0	$f = 18/(1 + \exp(-(x - 84)/14))$	<0,0001	18	<0,0001	14	0,0087	84	<0,0001
IRGA 417	15	$f = 25/(1 + \exp(-(x - 63)/11))$	<0,0001	25	<0,0001	11	0,0014	63	<0,0001
IRGA 424	0	$f = 15/(1 + \exp(-(x - 78)/26))$	<0,0001	15	<0,0001	26	0,0017	78	<0,0001
IRGA 424	15	$f = 28/(1 + \exp(-(x - 67)/18))$	<0,0001	28	<0,0001	18	<0,0001	67	<0,0001

Apêndice D - Modelos e coeficientes ajustados para descrever a relação entre o Nitrogênio Acumulado na Panícula (NAP) e o tempo. E seus respectivos valores de P testados para os modelos pelo teste F e para os coeficientes pelo teste t.

Tratamentos		Modelo	P	Coeficientes					
Cultivar	Dose de N (g m ⁻²)	$f = a/(1 + \exp(-(x - x_0)/b))$		a	P	b	P	x ₀	P
IRGA 417	0	$f = 12/(1 + \exp(-(x - 99)/3,4))$	<0,0001	12	<0,0001	3,4	0,0063	99	<0,0001
IRGA 417	15	$f = 16/(1 + \exp(-(x - 97)/3,5))$	<0,0001	16	<0,0001	3,5	0,0082	97	<0,0001
IRGA 424	0	$f = 10/(1 + \exp(-(x - 107)/4,4))$	<0,0001	10	<0,0001	4,4	0,0144	107	<0,0001
IRGA 424	15	$f = 19/(1 + \exp(-(x - 111)/8,0))$	<0,0001	19	<0,0001	8,0	0,0022	111	<0,0001

Apêndice E - Modelos e coeficientes ajustados para descrever a relação entre a diluição do nitrogênio e o tempo. E seus respectivos valores de P testados para os modelos pelo teste F e para os coeficientes pelo teste t.

Tratamentos		Modelo	P	Coeficientes			
Cultivar	Dose de N (g m ⁻²)	$f = ax^b$		<i>a</i>	P	<i>b</i>	P
IRGA 417	0	$f = ax^b$	<0,0001	16,1	<0,0001	-0,63	<0,0001
IRGA 417	15	$f = ax^b$	<0,0001	13,5	<0,0001	-0,50	<0,0001
IRGA 424	0	$f = ax^b$	<0,0001	23,2	<0,0001	-0,70	<0,0001
IRGA 424	15	$f = ax^b$	<0,0001	17,7	<0,0001	0,54	<0,0001