

SÉRGIO JOSÉ ALVES

**DINÂMICA DE CRESCIMENTO DA AVEIA PRETA SOB
DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO E AJUSTE DE
MODELO MATEMÁTICO DE RENDIMENTO POTENCIAL
EM FUNÇÃO DE PARÂMETROS CLIMÁTICOS**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Dr. Paulo Henrique Caramori

Co-orientador: Prof. Dr. Anibal de Moraes

CURITIBA

2002



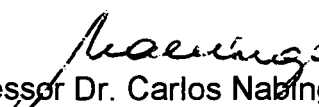
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E FITOSSANITARISMO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL

PARECER


Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de DOUTORADO, apresentada pelo candidato **SÉRGIO JOSÉ ALVES**, sob o título "**DINÂMICA DE CRESCIMENTO DA AVEIA PRETA SOB DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO E AJUSTE DE MODELO MATEMÁTICO DE RENDIMENTO POTENCIAL EM FUNÇÃO DE PARÂMETROS CLIMÁTICOS**", para obtenção do grau de Doutor em Ciências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

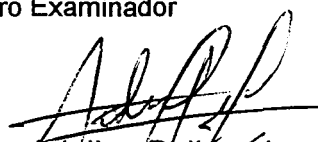
Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Tese.

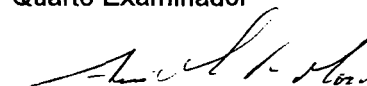
Curitiba, 16 de Agosto de 2002.


Professor Dr. Carlos Nabinger
Primeiro Examinador


Professor Dr. Luis Mauro Gonçalves Rosa
Segundo Examinador


Dr. Paulo Caramori
Terceiro Examinador


Professor Dr. Adélino Pelissari
Quarto Examinador


Professor Dr. Anibal de Moraes
Presidente da Banca e Orientador

Aos meus filhos Guilherme e Alexandre,
À minha esposa Rosa Maria Lima Alves,
Ao meu pai Aníbal Lopes Alves (in memorium),
À minha mãe Elza Pitta Alves

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao colega e orientador Paulo Henrique Caramori, pelo apoio, orientação segura, amizade e incentivo.

Ao professor Aníbal de Moraes, pela co-orientação, amizade e apoio.

Ao pesquisador Nelson Fonseca Jr., pelo auxílio na análise dos resultados.

Ao Colega Sebastião Brasil Campos Lustosa, pela amizade e pelo apoio e ajuda na instalação e condução do experimento.

Aos professores, administradores e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná pelos ensinamentos ministrados e amizade.

Ao CNPq pela bolsa auxílio, a qual possibilitou uma participação mais tranqüila no curso e no desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa.

À Syngenta e à Matsuda pela colaboração financeira para o desenvolvimento do projeto.

À minha esposa pela colaboração e compreensão no desenvolvimento deste trabalho e a todos meus familiares, pelo apoio, compreensão e confiança depositada.

Aos estagiários, que muito se dedicaram ao desenvolvimento das atividades de pesquisa e com a esperança de ter auxiliado, pelo menos um pouco, em suas formações e aos colegas da Pós-Graduação que além de grandes amigos, várias vezes, muito me ensinaram.

À administração do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR que possibilitou a execução deste trabalho.

A todos meus amigos que, de uma forma direta ou indireta, auxiliaram na execução desta tese.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Sérgio José Alves, filho de Aníbal Lopes Alves e Elza Pitta Alves, nasceu em Paranaíba, PR aos 02 de dezembro de 1964. É casado com Rosa Maria Lima Alves e pai de Guilherme Luis Lima Alves e Alexandre Luis Lima Alves.

Cursou o primeiro grau em Cambé e o segundo grau em Londrina – PR. Em 1982 ingressou no Curso de Agronomia na Universidade Estadual de Londrina, tendo durante o mesmo, como estagiário, participado de diversas atividades de pesquisa. Em 1987 recebeu o grau de Engenheiro Agrônomo. De janeiro a agosto de 1987 trabalhou na CASUL (Cooperativa Agrícola dos Cafeicultores de Centenário do Sul LTDA.), na área de Assistência Técnica, de setembro de 1987 a junho de 1988 foi Coordenador Regional de Promoção e Vendas – Região Sul do Brasil – da Química – Produtos Químicos Comércio e Indústria S/A; e de julho de 1988 até o presente faz parte do quadro de pesquisadores do IAPAR (Instituto Agronômico do Paraná) em Londrina – PR. Dentre as principais atividades profissionais, trabalhou na área de assistência técnica a produtores rurais, foi supervisor regional de uma empresa multinacional na área de defensivos agrícolas, coordenador da Rede Estadual de Avaliação de Cultivares de Feijão, Presidente da Comissão Paranaense de avaliação de Forrageiras, consultor de Empresas participantes do Agronegócio, co-gerente do projeto de Integração Lavoura-Pecuária como alternativa de diversificação em propriedades agrícolas do Paraná, dentre outras. Teve a oportunidade de efetuar visitas técnicas e palestras em diversos países do continente americano, dentre os quais: Colômbia, Bolívia, Paraguai, Costa Rica, Equador, Venezuela, México, Argentina, Guatemala, Estados Unidos, etc. tendo colaborado na difusão de tecnologias visando à produção animal em pastejo em diversas regiões.

Em 1993, iniciou o curso de Mestrado, área de concentração em Genética, na Universidade Estadual de Londrina, obtendo o grau de Mestre em 1996. Em março de 1998 iniciou o Curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, no Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo da Universidade Federal do Paraná.

SUMÁRIO

Sumário.....	V
Lista de Figuras.....	IX
Lista de Tabelas.....	XIII
Lista de equações.....	XV
Lista de Anexos	XVIII
Resumo.....	XIX
Abstract.....	XX
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 MORFOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DE GRAMÍNEAS.....	03
2.2 MORFOGÊNESE.....	09
2.2.1 Taxa de aparecimento de folhas (TAF) ou filocrono.....	12
2.2.2 Taxa de expansão foliar (TEF).....	13
2.2.3 Duração de vida da folha (DVF) e número de folhas vivas por perfilho.....	15
2.2.4 Tamanho final da folha (TFF) e comprimento da bainha.....	15
2.2.5 Densidade de perfilhos e relação lâmina foliar:caule.....	16
2.2.6 Aplicabilidade dos conceitos de morfogênese.....	18
2.3 EFEITO DOS NUTRIENTES NO DESENVOLVIMENTO VEGETAL.....	19
2.4 CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE DE PLANTAS FORRAGEIRAS.....	21

2.5 NOÇÕES DE SISTEMAS MODELOS E SIMULAÇÕES EM PESQUISA EM FORRAGICULTURA.....	22
2.5.1 Modelos e simulações.....	22
2.5.2 Sistemas e modelos.....	23
2.5.3 Modelos matemáticos do desenvolvimento das plantas.....	26
2.5.4 Modelos de estimação da produtividade potencial.....	26
2.5.5 Limitações ao modelo de produtividade potencial.....	31
2.5.6 Curva de diluição do nitrogênio e modelo de resposta a adubação.....	32
3 METODOLOGIA.....	36
3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO.....	36
3.2 CARACTERÍSTICA DE SOLO E CLIMA.....	36
3.3 CLIMA.....	36
3.4 ESTABELECIMENTO.....	37
3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	37
3.6 PRÁTICAS CULTURAIS.....	39
3.7 DETERMINAÇÕES.....	39
3.7.1 Produção de forragem.....	39
3.7.2 Parâmetros de crescimento.....	40
3.7.2.1 Amostragem da parte aérea.....	40
3.7.2.2 Determinação das características morfogênicas e estruturais.....	41

3.7.2.2.1 Taxa de alongação foliar – TEF (mm/folha/GD).....	42
3.7.2.2.2 Comprimento foliar –CF (cm).....	42
3.7.2.2.3 Taxa de alongação foliar total – TEFT (mm/GD).....	42
3.7.2.2.4 Taxa de aparecimento de folhas – Filocrono (GD).....	42
3.7.2.2.5 Taxa de senescência foliar – TSF (mm/GD).....	43
3.7.2.2.6 Duração de vida da folha.....	43
3.7.2.2.7 Número de perfilhos por planta.....	43
3.8 OBSERVAÇÕES METEOROLÓGICAS.....	43
3.8.1 Observações da estação meteorológica.....	43
3.8.2 Balanço da radiação.....	44
3.9 MODELO DE DILUIÇÃO DE NITROGÊNIO.....	45
3.10 BALANÇO DE RADIAÇÃO E MODELO DE ACÚMULO DE MATÉRIA SECA EM FUNÇÃO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (PAR) ABSORVIDA (EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO –EA).....	46
3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1 PRODUÇÃO DE FORRAGEM.....	49
4.2 PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E TEORES FOLIARES DE NITROGÊNIO DURANTE A FASE VEGETATIVA DAS PLANTAS.....	51
4.2.1 1º período de avaliação (1º crescimento, 1º acúmulo/ corte ou estabelecimento).53	
4.2.2 2º período de avaliação (2º crescimento, 2º acúmulo/corte ou 1º rebrota)....	60

4.2.3 3º período de avaliação (3º crescimento, 3º acúmulo ou 2º rebrota).....	67
4.2.4 Avaliação do crescimento de forragem durante a fase vegetativa das plantas.....	73
4.3 NITROGÊNIO.....	74
4.3.1 Curva de diluição de nitrogênio.....	74
4.4 MODELO DE PREVISÃO DO RENDIMENTO POTENCIAL DE MATÉRIA DE AVEIA- PRETA CV. IAPAR 61 EM FUNÇÃO DA RADIAÇÃO ABSORVIDA.....	78
4.4.1 Coeficiente de extinção (k) da PAR.....	78
4.4.2 Coeficientes de reflexão (CR), transmissão (CT) e eficiência da absorção (Ea) medida.....	80
4.4.3 Modelo de evolução da Eficiência de absorção (Ea).....	84
4.4.4 Modelo de evolução da biomassa aérea em função da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (PARa).....	85
4.4.4.1 Ajuste do modelo.....	85
4.5 EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DA RADIAÇÃO (EUR).....	88
5 CONCLUSÕES.....	91
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
8 ANEXOS.....	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principais unidades constituintes de uma gramínea forrageira.....	03
Figura 2. Representação gráfica do crescimento e/ou rebrota de uma planta forrageira ao longo do tempo.....	05
Figura 3. Balanço entre a taxa de fotossíntese bruta, respiração, senescência e a taxa de acúmulo líquido de forragem num pasto em período de rebrota. Adaptado de Parsons (1980).....	06
Figura 4. Relação entre variáveis morfogênicas e características estruturais do pasto. Adaptado de Chapman & Lemaire (1993).....	10
Figura 5. Esquema conceitual de um sistema.....	24
Figura 6. Esquema de enfoques de pesquisa.....	25
Figura 7. Imagens do experimento de campo em diferentes etapas.....	38
Figura 8. Evolução do acúmulo de matéria seca da parte aérea da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 1.....	54
Figura 9. Evolução do índice de área foliar da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 1.....	54
Figura 10. Evolução do número de perfilhos por planta da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 1.....	55
Figura 11. Evolução do comprimento foliar da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 1.....	55
Figura 12. Relação lâmina foliar:colmo da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 1.....	56
Figura 13. Relação entre número de folhas produzidas e o acúmulo de graus-dia, no primeiro	

crescimento (estabelecimento) da aveia preta IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio.....	58
Figura 14. Evolução do teor de nitrogênio (%N) da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – 10 acúmulo.....	60
Figura 15. Evolução do acúmulo de matéria seca da parte aérea da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 2.....	62
Figura 16. Evolução do índice de área foliar da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 2.....	62
Figura 17. Evolução do número de perfilhos por planta da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 2.....	63
Figura 18. Evolução do comprimento foliar total da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 2.....	63
Figura 19. Relação lâmina foliar:caule da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 2.....	64
Figura 20. Relação entre número de folhas produzidas e o acúmulo de graus-dia, no segundo crescimento (1° rebrota) da aveia preta IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio.....	66
Figura 21. Evolução do teor de nitrogênio (%N) da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 2.....	67
Figura 22. Evolução do acúmulo de matéria seca da parte aérea da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 3.....	69
Figura 23. Evolução do índice de área foliar da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 3.....	69
Figura 24. Evolução do número de perfilhos por planta da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 3.....	70

Figura 25. Evolução do comprimento foliar total da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 3.....	70
Figura 26. Relação lâmina foliar:caule da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 3.....	71
Figura 27. Relação entre número de folhas produzidas e o acúmulo de graus-dia, no terceiro crescimento (2 ° rebrota) da aveia preta IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio.....	72
Figura 28. Evolução do teor de nitrogênio (%N) da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 3.....	73
Figura 29. Concentração do N em relação à produção de massa seca em aveia preta IAPAR 61, em três cortes avaliados e em função de doses crescentes de nitrogênio, Curitiba, PR, 1999.....	75
Figura 30. Concentração do N em relação à produção de massa seca em aveia preta IAPAR 61 na fase de estabelecimento e em função de doses crescentes de nitrogênio, Curitiba, PR, 1999.....	76
Figura 31. Concentração do N em relação à produção de massa seca em aveia preta IAPAR 61 em acúmulos após corte de uniformização (rebrote) e em função de doses crescentes de nitrogênio, Curitiba, PR, 1999.....	77
Figura 32. Evolução dos coeficientes de transmissão (CT), reflexão solo/cultura (CR) e eficiência de absorção (Ea) médios observados durante o período de estabelecimento (corte 1).....	77
Figura 33. Evolução dos coeficientes de transmissão (CT), reflexão solo/cultura (CR) e eficiência de absorção (Ea) médios observados durante o período da primeira rebrota (corte 2).....	80

Figura 34. Evolução dos coeficientes de transmissão (CT), reflexão solo/cultura (CR) e eficiência de absorção (Ea) médios observados durante o período da segunda rebrota (corte 3).....	81
Figura 35. Evolução Ea em função do IAF modelado em aveia preta cultivar IAPAR 61.....	81
Figura 36. Eficiência média da utilização da radiação (EUR) dos diferentes tratamentos entre a emergência das plantas e 1º corte (1), entre este e o 2º corte (2), e deste até o 3º corte (3).....	82
Figura 37. Eficiência média da utilização da radiação (EUR) dos diferentes tratamentos entre a emergência das plantas e 1º corte (1), entre este e o 2º corte (2), e deste até o 3º corte (3).....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Características químicas do solo antes de instalar o experimento.....	37
Tabela 2 Produção de matéria seca da parte aérea de aveia preta cultivar IAPAR 61 em quatro cortes, sendo três durante a fase vegetativa da cultura (1, 2 e 3) e um na fase de enchimento de grãos.....	50
Tabela 3 Produções médias diárias, em kg de matéria seca da parte aérea de aveia preta por hectare da cultivar IAPAR 61, em quatro cortes, sendo três durante a fase vegetativa da cultura (1, 2 e 3) e um na fase de enchimento de grãos.....	51
Tabela 4 Coeficientes de regressão e análise de variância (anova) dos modelos matemáticos das variáveis resposta.....	52
Tabela 5 Contribuição das variáveis para explicar o modelo matemático.....	53
Tabela 6 Taxa de alongação foliar – (TEF - mm/folha/GD), taxa de alongação foliar total (TEFT - mm/GD), taxa de aparecimento de folhas – (filocrono - GD), taxa de senescência foliar - TSF (mm/ GD) e a duração de vida da folha (DVF - GD) média observadas no período compreendido entre a emergência das plantas e o 1° corte.....	58
Tabela 7 Taxa de alongação foliar – (TEF - mm/folha/GD), taxa de alongação foliar total (TEF - mm/GD), taxa de aparecimento de folhas – (filocrono - GD), taxa de senescência foliar - TSF (mm/GD) e a duração de vida da folha (DVF - GD) médias observadas no período compreendido entre a emergência das plantas e o 1° corte.....	65
Tabela 8 Taxa de alongação foliar – (TEF - mm/folha/GD), a taxa de alongação foliar total (TEFT - mm/GD), a taxa de aparecimento de folhas – (filocrono - GD), a taxa de senescência foliar - TSF (mm/ GD) e a duração de vida da folha (DVF - GD) médias observadas no período compreendido entre a emergência das plantas e o 1° corte.....	72

Tabela 9 Coeficientes de regressão **a** e **b**, coeficientes de determinação (R^2) e desvio padrão obtidos para o modelo de diluição de nitrogênio, neste e em outros trabalhos com gramíneas forrageiras anuais.....78

Tabela 10 Valores do coeficiente k calculados pelo método de Monsi e Saeki (1953) para aveia preta cv. IAPAR 61.....79

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	MS=αPARa.....	26
Equação 2	PARa = (PARi + PARs) - (PARr + PART).....	26
Equação 3	Ea = 1 - CT + CRs + CRr.....	27
Equação 4	Ea = B * (1 - exp(-k*IAF)).....	28
Equação 5	Msa=1,76*PARa.....	29
Equação 6	PARa = Ea * PARin.....	29
Equação 7	PARin = 0.48 * Rg (componente climático).....	29
Equação 8	Ea = 0,97(1-exp(- 0,88 * IAF)) (componente biológico).....	29
Equação 9	IAF = 9.2*10 ⁻³ *Σθ.....	30
Equação 10	MS= 0.854(Rg(1- exp(-8.1*10 ⁻³ *Σθ))).....	30
Equação 11	N% = a (W) ^{-b}	33
Equação 12	C3 – N% = 4,8 (W) ^{-0,32}	34
Equação 13	C4 – N% = 3,6 (W) ^{-0,34}	35
Equação 14	Nupt(kg/ha) = 10a [W(t/ha)] ^{1-b}	35
Equação 15	r = mf/Af.....	41
Equação 16	IAF = (MS * % folhas verdes)/ ρ * 100).....	41
Equação 17	GD=(Tmax+Tmin)/2 (Ometto, 1981).....	44
Equação 18	PARa = PARi - PART – PARr.....	46

Equação 19	$Ea = PARa/PARi$	(Varlet-Grancher et al., 1989).....	46
Equação 20	$K = (LnPARi-LnPART)/IAF$	(adaptado de Monsi e Saeki, 1953).....	46
Equação 21	Estabelecimento (1° corte):	$IAF = 0,1628*EXP(0,0068*ST)$	84
Equação 22	Primeiro rebrote (2° corte):	$IAF = 1,4093 + 0,0125*ST$	84
Equação 23	Segundo rebrote (3° corte):	$IAF = 1,588*EXP(0,006*ST)$	84
Equação 24	Estabelecimento:	$Eaest = 0,904 (1 - \exp (-0,65(0,1628*EXP(0,0068*ST))))$	84
Equação 25	1° Rebrotas:	$Ea1reb. = 0,904 (1 - \exp (-0,65.(-6,020 + 0,012*ST)))$	84
Equação 26	2° Rebrotas:	$Ea2reb. = 0,904 (1 - \exp (-0,65.(1,588*EXP(0,006*ST))))$	85
Equação 27	Estabelecimento:	$MS = 1468,4 - 24,901*PARa + 0,1816*PARa^2$	85
Equação 28	1° Rebrotas:	$MS = 124,17 + 30,203*PARa$ ($R^2=0,973$).....	86
Equação 29	2° Rebrotas:	$MS = 21,568+18,713*PARa$ ($R^2=0,997$).....	86
Equação 30	Estabelecimento:	$MS = 1468,4 - 24,901*(PARi*Ea) + 0,1816*(PARi*Ea)^2$	86
Equação 31	1° Rebrotas:	$MS = 124,17 + 30,203*(PARi*Ea)$	86
Equação 32	2° Rebrotas:	$MS = 21,568+18,713*(PARi*Ea)$	86
Equação 33		$MS = 1468,4 - 24,901 (0,42 Rs (\beta (1 - \exp (-k*IAF)))) + 0,1816 (0,42 Rs (\beta (1 - \exp (-k*IAF))))^2$	87
Equação 34		$MS = 124,17 + 30,203*(0,42 Rs (\beta (1 - \exp (-k*IAF))))$	87
Equação 35		$MS = 21,568+18,713*(0,42 Rs (\beta (1 - \exp (-k*IAF))))$	87
Equação 36		$MS = 1468,4 - 24,901*(0,42 Rs (0,904 (1 - \exp (-0,65 (0,1628*EXP^{0,0068*ST})))) + 0,1816*(0,42 Rs (0,904 (1 - \exp (-0,65 (0,1628*EXP^{0,0068*ST}))))^2$	87

Equação 37	$MS = 1468,4 - 9,454 (1 - \exp(-0,1058 \exp^{0,0068 ST}) * Rs) + 0,069 (1 - \exp(-0,1058 \exp^{0,0068 ST}) Rs)^2$	87
Equação 38	$MS = 124,17 + 30,203 * (0,42 Rs (0,904 * (1 - \exp(-0,65 * (1,4093 + 0,0125 * ST))))))$	88
Equação 39	$MS = 124,17 + 11,47 * (1 - \exp^{(-0,916 - 0,0081 * ST)}) * Rs$	88
Equação 40	$MS = 21,568 + 18,713 * (0,42 Rs (0,904 * (1 - \exp(-0,65 * (1,588 \exp^{0,006 * ST}))))))$	88
Equação 41	$MS = 21,568 + 7,105 (1 - \exp(-1,0322 * \exp^{0,006 * ST})) * Rs$	88

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Dados climáticos (T. Max. – temperatura máxima (°C); T. Min. – temperatura mínima (°C) e radiação solar (MJ/m ² .dia)) durante a condução do ensaio e equivalência entre calendários Juliano e Romano.....	104
Anexo 2. Evolução do IAF no 1º crescimento (estabelecimento) com a dose de 225 kg de nitrogênio / ha.....	106
Anexo 3. Evolução do IAF no 2º crescimento (1º rebrota) com a dose de 225 kg de nitrogênio / ha.	106
Anexo 4. Evolução do IAF no 3º crescimento (2º rebrota) com a dose de 225 kg de nitrogênio / ha.	106
Anexo 5. Evolução da Ea _{est} no 1º crescimento (estabelecimento) com a dose de 225 kg de nitrogênio / ha.....	107
Anexo 6. Evolução da Ea _{1reb} no 2º crescimento (1º rebrota) com a dose de 225 kg de nitrogênio / ha.	107
Anexo 7. Evolução da Ea _{2reb} no 3º crescimento (2º rebrota) com a dose de 225 kg de nitrogênio / ha.	107
Anexo 8 – Planilha de cálculo da produção de matéria seca de aveia e azevém em função da radiação e dos graus-dia acumulados – tela de abertura.....	108
Anexo 9 – Planilha de cálculo da produção de matéria seca de aveia e azevém em função da radiação e dos graus-dia acumulados – tela de entrada dos dados de radiação e temperatura.	108
Anexo 10 – Planilha de cálculo da produção de matéria seca de azevém em função da radiação e dos graus-dia acumulados.	109
Anexo 11 – Planilha de cálculo da produção de matéria seca de aveia em função da radiação e dos graus-dia acumulados.....	110

RESUMO:

Visando estudar a dinâmica de crescimento da aveia preta (*Avena strigosa* Lam.), cultivar IAPAR 61, sob diferentes níveis de nitrogênio (0; 75; 150; 225 e 300 kg /ha) e ajustar um modelo matemático de rendimento potencial de forragem baseado no acúmulo térmico e na radiação solar incidente, foi conduzido um trabalho na estação experimental da Universidade Federal do Paraná - UFPR, município de Pinhais – PR. A semeadura foi realizada em 19 de abril de 1999 com 60 kg de sementes / ha, em linhas espaçadas de 17 cm. O experimento foi irrigado e mantido livre de invasoras e insetos. A adubação nitrogenada foi efetuada com uréia e parcelada em três aplicações (24, 54 e 80 dias após a emergência das plantas). A produção de forragem foi avaliada em quatro cortes, sendo três efetuados durante a fase vegetativa e um na fase reprodutiva das plantas. Foram feitas avaliações semanais de peso da matéria seca da parte aérea (MS), teor de nitrogênio na biomassa aérea (% N); relação lâmina foliar/caule (LF:C) e índice da área foliar (IAF) e duas vezes por semana foram realizadas as medições de folhas e a contagem de perfilhos em plantas marcadas. O balanço de radiação foi realizado com base em dados coletados por um quantômetro e por sensores instalados nos diferentes tratamentos e de forma a avaliar a radiação incidente, refletida e transmitida. Houve uma significativa resposta da cultura a doses de nitrogênio e uma interação significativa destas com as épocas de corte. Observou-se menores produtividades na ausência de nitrogênio em todas as épocas avaliadas, com uma produção total de 3422,6 kg de MS / ha. A dose de 300 kg de N/ha possibilitou uma produção total de 9953,6 de MS / ha e destacou-se das demais durante a fase reprodutiva da cultura, enquanto que na fase vegetativa a máxima produtividade foi obtida com 225 kg de N/ha (7268,7 kg MS / ha). O nitrogênio modificou todas as características morfogênicas avaliadas: índice de área foliar (IAF), perfilhamento, relação lâmina foliar:colmo, comprimento foliar, taxas de alongação foliar e de senescência. A evolução do IAF nos dois primeiros acúmulos deveu-se tanto ao incremento do perfilhamento quanto do comprimento foliar, porém no terceiro corte a evolução deveu-se quase que exclusivamente à expansão foliar. O filocrono da aveia preta cultivar IAPAR 61 foi de aproximadamente 80 GD no afilho principal, independentemente da dose de nitrogênio utilizada. Os submodelos para estimativa da evolução do IAF baseados no acúmulo de graus-dia (GD), e da eficiência de absorção (Ea) baseado no coeficiente de extinção (K) e no sub-modelo de IAF, são adequados para a estimativa da radiação fotossinteticamente absorvida (PARa) e para a análise de crescimento da biomassa aérea baseada no uso da radiação, mas são diferentes para a fase de estabelecimento e para os rebrotes. O crescimento potencial da aveia preta IAPAR 61, em condições não limitantes, pode ser estimado por meio de um modelo simples com duas variáveis climáticas: radiação global incidente acumulada (Rs) e graus-dia acumulados (GD), de fácil obtenção em estações meteorológicas.

PALAVRAS-CHAVE: índice de área foliar (IAF), relação lâmina foliar:colmo, perfilhamento, comprimento foliar, teor de nitrogênio, filocrono, taxa de senescência, taxa de alongação foliar.

ABSTRACT:

Aiming at studying the growing dynamics of black oats (*Avena strigosa* Lam.) under several levels of nitrogen (0; 75; 150; 225 and 300 kg /ha), and to validate a mathematical model of potential yield of forage based on degree-days and incident solar radiation, a field experiment was carried out at the experimental station of Federal University of Paraná – UFPR, municipality of Pinhais, PR, Brazil. Sowing was made on April 19, 1999, with 60 kg of seeds/ha, in rows spaced by 17 cm. The experiment was irrigated and kept free of weeds and pests. Nitrogen fertilization was made with urea split in three applications at 24, 54 and 84 days after plant emergence. Forage production was evaluated after four cuttings, with three during vegetative growth and one in the reproductive stage. Every week, the following evaluations were made: dry matter and nitrogen content (% N) of the upper part; leaf blade / culm ratio, and leaf area index (LAI). Every two weeks leaves were measured and tillering were counted on selected plants. Photosynthetic Active Radiation (PAR) data were collected with PAR sensors installed in the treatments, stored in a CR-10 datalogger (Campbell Scientific), and PAR incident, reflected and transmitted. There was a significant response to nitrogen dosage and a significant interaction of dosage with cutting time. There was lower productivity in the absence of nitrogen in all cutting times evaluated, with an accumulated production of 3422.6 kg dry matter / ha. The treatment with 300 kg N/ha provided 9953.6 kg / ha dry matter and was superior the all the others during the reproductive phase of the crop. During the vegetative phase the maximum productivity of 7268.7 kg dry matter / ha was obtained with 225 kg N/ha.

Nitrogen modified all morphogenic traits evaluated: leaf area index, tillering, leaf blade / culm ratio, leaf length, leaf elongation rate and senescence. The evolution of leaf area index in the first two cuttings was related to both tillering increment and leaf length, but in the third cutting the evolution was mainly due to leaf expansion. The black oat phylotron of the cultivar IAPAR 61 was approximately 80 degree-days for the main tiller independent of the nitrogen dosage. The submodels to estimate the evolution of LAI based on degree-days, and the absorption efficiency (Ea) based on the extinction coefficient (K) and on the submodel of LAI, were suitable to estimate the absorbed photosynthetically active radiation (PARa) and for growth analysis of biomass based on radiation, but they differed for the phase of plant establishment and re-growth. Potential growth of black oats IAPAR 61, under non-limiting conditions, can be estimated by a simple model with two climatic variables: accumulated global solar radiation and degree-days, easily available from weather stations.

Word keys: leaf area index (LAI); leaf blade / culm ratio ; tillering ; leaf length; nitrogen content ; phylotron ; leaf elongation rate ; leaf senescence rate

1 INTRODUÇÃO

A aveia preta (*Avena strigosa* Lam.) é uma gramínea anual de inverno com múltiplas possibilidades de utilização, podendo ser empregada para produção de grãos (alimentação animal), forragem (pastejo, feno silagem ou cortada e fornecida fresca no cocho), cobertura do solo e adubação verde (proteção e melhoria das condições físicas do solo), inibir as infestações de plantas invasoras (efeito alelopático) e melhorar a sanidade do solo. É utilizada em diversas regiões do Brasil em sistemas de rotação de culturas. Apenas no Paraná, estima-se que a área plantada anualmente ultrapasse um milhão de hectares, a maior parte em rotação com soja e milho. O uso em pastejo está em expansão e a aveia preta tem se constituído numa das principais opções para sistemas de integração lavoura – pecuária, possibilitando disponibilizar forragem de alta qualidade nutricional para os animais no período de inverno. É bem aceita pelos bovinos, tolera o pisoteio e apresenta boa capacidade de rebrote, podendo ser utilizada por um período de até 4 meses (Sá, 1995). Consorcia-se bem com azevém, ervilha forrageira, ervilhaca, trevos e cornichão.

Entretanto, observa-se considerável variação de produtividade forrageira nos diferentes anos e locais em que a aveia é utilizada em sistemas de integração lavoura-pecuária. Muito embora, disponha-se de um acervo de resultados de pesquisas regionais, faltam trabalhos que aprofundem o conhecimento das inter-relações entre os diferentes fatores de crescimento da cultura, visando a produção de forragem para utilização em pastejo.

O sol é a fonte primária de energia para o desenvolvimento e manutenção da quase totalidade da vida na terra. A produção vegetal baseia-se na transformação de energia solar em compostos orgânicos pela fotossíntese. A quantidade de carbono fixado por uma pastagem por unidade de tempo depende diretamente da quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas folhas verdes, ou seja, maior ou menor capacidade de captura da radiação está prioritariamente relacionada à área foliar presente na planta.

Um manejo em que seja obtida a manutenção de uma área foliar mínima que assegure uma rápida rebrota das plantas forrageiras associada a disponibilização de

fatores que permitam uma rápida reposição de folhas parece ser o caminho para a obtenção de alta produtividade. Dentre estes fatores, a disponibilidade de água e o nitrogênio tem alta influência no desenvolvimento foliar. O estudo da evolução do índice de área foliar em diferentes doses de nitrogênio, na ausência de deficiência hídrica, e sua relação com a interceptação de luz pode se constituir num importante instrumental de manejo visando alta produtividade. O estudo da dinâmica de crescimento da aveia preta, cultivar IAPAR 61, sob diferentes níveis de nitrogênio e o ajuste de um modelo matemático de rendimento potencial de forragem baseada em parâmetros climáticos, na ausência de outros fatores limitantes (nutrientes e água), foram os objetivos deste estudo. Teoricamente, o acúmulo de biomassa aérea é função direta da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela cultura, sendo possível, portanto, ajustar um modelo único de resposta para cada grupo de rota metabólica, bastando apenas obter os parâmetros para cada espécie .

Dentre os objetivos específicos, buscou-se conhecer a evolução de características morfogenéticas em diferentes doses de nitrogênio: índice de área foliar (IAF), perfilhamento, relação lâmina foliar:colmo, comprimento foliar, taxas de alongação foliar e de senescência e suas possíveis contribuições para a produção de forragem por hectare nos diferentes acúmulos. Adicionalmente, procurou-se estudar a taxa de aparecimento de folhas em diferentes doses de nitrogênio e sua relação com o acúmulo térmico (graus-dia); o nível de nitrogênio que permitiria a máxima produção de forragem na ausência de deficiência hídrica; visou-se a obtenção de sub-modelos para evolução dos parâmetros morfogenéticos avaliados em função dos graus-dia e das doses de nitrogênio; a estimativa da eficiência de absorção (E_a) e do coeficiente de extinção (K) para aveia e a estimação da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (PAR_a) e de sua possível utilidade para a análise de crescimento da biomassa aérea da aveia e do cálculo de eficiência de utilização da radiação (EUR).

Uma melhor compreensão dos aspectos envolvidos na obtenção de altas produtividades de forragem por unidade de área e das inter-relações entre os fatores pode permitir uma maior precisão no planejamento da utilização da aveia como forrageira, um aumento da produção animal e o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e competitivos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MORFOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DE GRAMÍNEAS

Uma gramínea é constituída de raiz, caules, folhas e, dependendo do estágio de desenvolvimento, inflorescências. A unidade vegetativa básica é o perfilho (Hodgson, 1990), cujo desenvolvimento morfológico está baseado na sucessiva diferenciação de fitômeros em diferentes estádios de desenvolvimento (Valentine & Matthew, 1999). O fitômero se constitui de lâmina foliar, bainha, entrenó, nó e gema. Cada fitômero tem origem no primórdio foliar formado no meristema apical localizado no ápice do caule (Langer, 1972; Briske, 1991). Fitômeros de gramíneas possuem um ciclo de vida mais ou menos determinado, quando então são substituídos, de maneira organizada, por fitômeros jovens. Essa organização dos perfilhos na forma de uma cadeia seqüencial de fitômeros confere aos mesmos duas características importantes: i) capacidade de substituição de perfilhos que vão morrendo e ii) proteção de meristemas contra o processo de desfolha (Valentine & Matthew, 1999). A Figura 1 mostra uma gramínea com suas unidades constituintes.

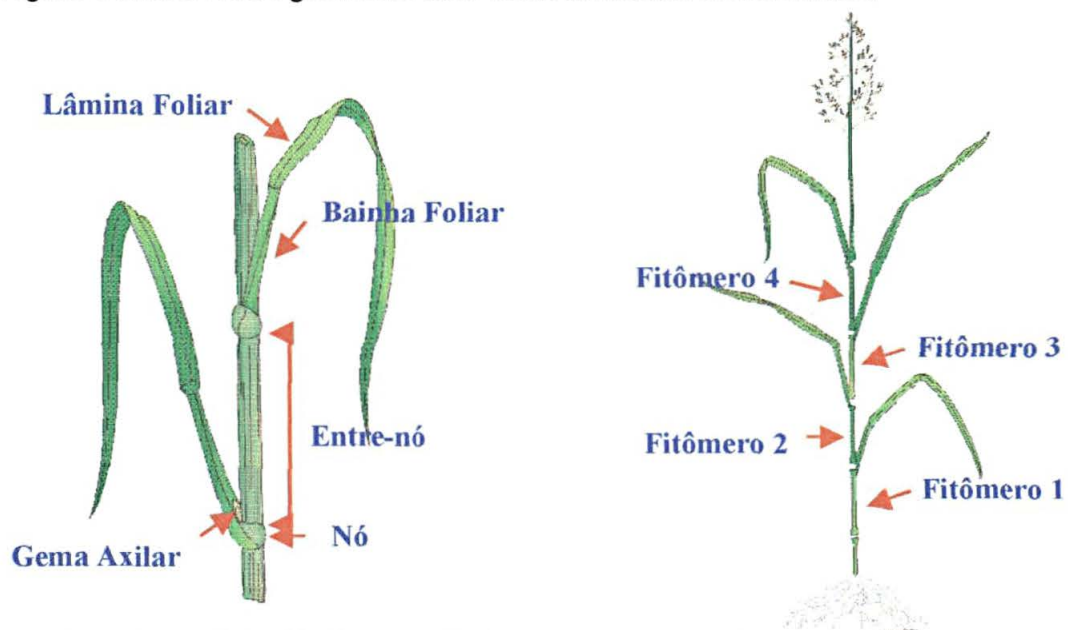


Figura 1 – Principais unidades constituintes de uma gramínea forrageira.

Observa-se uma tendência do aumento do número de perfilhos com o passar do tempo e um maior perfilhamento em condições de alta intensidade luminosa e

disponibilidade de nitrogênio (Zimmer & Correia, 1993). O aparecimento e alongamento de folhas são dois processos fisiológicos determinantes do peso do perfilho, porém, peso e número de perfilhos por planta são correlacionados negativamente (Hodgson, 1990). O perfilhamento da planta forrageira e a diferenciação de fitômeros pode explicar a resposta das plantas a níveis de adubação, épocas de colheita, e freqüências e intervalos entre cortes (Corsi & Nascimento Júnior, 1994).

Segundo Brougham citado por Gomide (1997), o progressivo aumento de folhas por perfilho e de perfilhos por planta determina o aumento do Índice de Área Foliar (IAF) do relvado e, conseqüentemente, o rendimento forrageiro, via crescente percentual de interceptação e captura da radiação luminosa. O IAF é determinado pela relação entre a área das folhas e a área de solo ocupado pelas plantas.

Para que a radiação solar seja transformada em produção agrícola, as plantas precisam captá-la eficientemente (Ferraz, 1987). Com o desenvolvimento de folhas e perfilhos a planta gera área foliar para interceptação de luz e conseqüente realização de fotossíntese para produção de fotoassimilados e continuação do crescimento. Assim, as folhas completamente expandidas produzem e translocam fotoassimilados para manter a atividade do meristema apical, o desenvolvimento do sistema radicular e as folhas em expansão. As folhas emergentes, embora já capazes de realizar fotossíntese, não translocam fotoassimilados em quantidades significativas, consumindo-os prioritariamente no seu próprio desenvolvimento (Williams, 1964).

A produtividade de uma comunidade vegetal pode ser entendida e avaliada de diferentes formas, dependendo do enfoque a ser utilizado. Mais especificamente em sistemas pastoris, os conceitos de produção primária e produção colhível devem ser entendidos. O primeiro corresponde ao total de biomassa produzido pela pastagem e o segundo apenas à biomassa presente na planta em um determinado momento. Estes dois conceitos de produtividade diferem consideravelmente dentro dos sistemas pastoris. A biomassa colhível numa pastagem em um determinado momento é a diferença entre o fluxo de elaboração de novos tecidos (produção primária) e de um fluxo de senescência e de decomposição dos tecidos foliares mais

antigos (Nabinger, 1997). As plantas apresentam comportamento sigmóide em termos de crescimento, como pode ser observado na Figura 2.

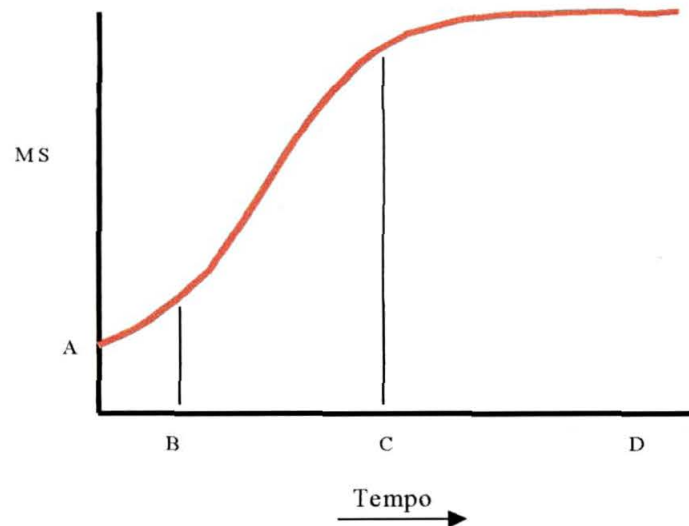


Figura 2 – Representação gráfica do acúmulo de biomassa aérea na rebrota de uma planta forrageira ao longo do tempo.

Nesta Figura diferentes fases do desenvolvimento e/ou rebrota de uma planta forrageira podem ser observados. A fase AB caracteriza-se por um ritmo lento de crescimento, pois a planta está formando e/ou recompondo a área foliar. Esta etapa será mais ou menos demorada, dependendo das condições ambientais e, no caso de rebrota após corte ou pastejo, da preservação de pontos de crescimento, da área foliar remanescente e da disponibilidade de carboidratos de reserva. Ou seja, num corte ou pastejo menos intenso, a presença de folhas remanescentes e maiores disponibilidades de carboidratos de reserva possibilitam uma recuperação mais rápida das plantas.

Na fase BC, fase linear de crescimento, a planta acumula matéria seca de forma acelerada. As forrageiras já dispõem de uma área foliar que permite altas taxas fotossintéticas e encontram-se em balanço positivo de carbono, o que irá traduzir-se em rápido acúmulo de matéria seca.

A partir do ponto C, o ritmo de crescimento reduz-se, principalmente devido ao sombreamento sofrido pelas folhas mais velhas e ao aumento da taxa de senescência destas, contribuindo para a diminuição da taxa de acúmulo de matéria seca (Figura 3).

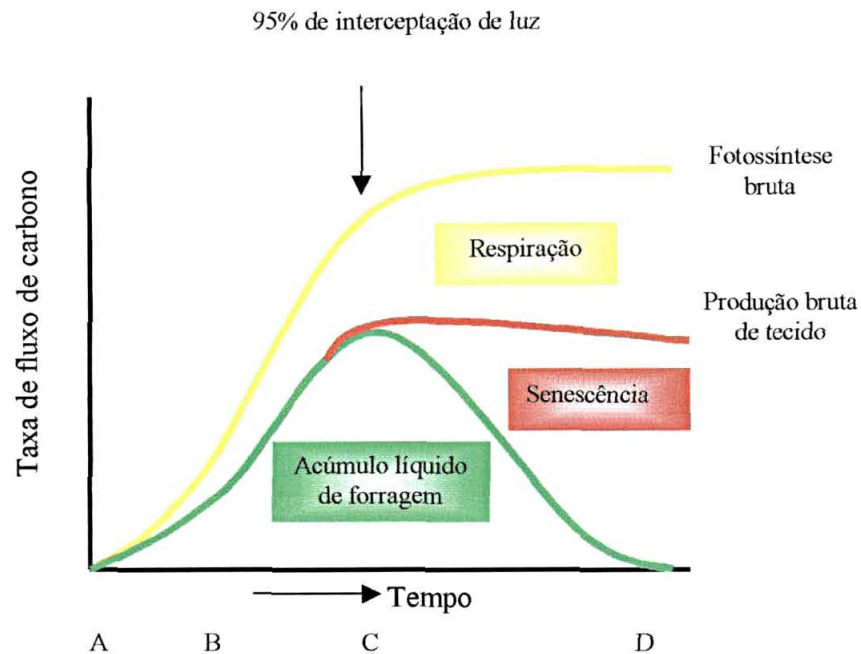


Figura 3 - Balanço entre a taxa de fotossíntese bruta, respiração, senescência e a taxa de acúmulo líquido de forragem num pasto em período de rebrota. Adaptado de Parsons & Robson (1980).

O acréscimo de biomassa em uma área depende do desenvolvimento de sua área foliar. As folhas vão cobrindo pouco a pouco a área disponível, aumentando gradativamente a capacidade do vegetal em utilizar a energia solar.

A interceptação da luz por uma superfície é influenciada pelo seu tamanho, forma, ângulo de inserção e orientação azimutal, separação vertical e arranjo horizontal e pela absorção por estruturas não foliares (Willias; Monsi & Saeki e Monteith, citados por Yoshida, 1972). O ângulo foliar é um parâmetro importante na

produção: plantas com folhas eretas podem ter altas taxas fotossintéticas mesmo com elevados índices de área foliar.

A evolução do IAF no tempo indica a velocidade com que a parte aérea do vegetal (área foliar) ocupa a área de solo disponível àquela planta. A taxa de crescimento é uma função do IAF e da eficiência fotossintética das folhas. O progressivo aumento de folhas por perfilho e de perfilhos por planta determina o aumento do IAF do relvado e, então, o rendimento forrageiro, via crescente percentual de interceptação e captura de energia luminosa (Brougham citado por Gomide, 1997). Porém um aumento excessivo de IAF incrementa o auto-sombreamento das folhas, diminuindo a taxa fotossintética média por unidade de área foliar. Manter um IAF ótimo, que permita máximas taxas de crescimento da pastagem deve ser um dos objetivos fundamentais do manejo da desfolha. Esta manutenção de índices foliares próximos do ótimo também está relacionada à reciclagem interna de nutrientes na planta e ao acúmulo e remobilização de substâncias de reserva sendo, portanto, um objetivo importante a ser considerado (Nabinger & Pontes, 2001).

Corsi & Nascimento Júnior (1994) citam que em uma área de pastagem pode-se considerar que a produtividade depende de um equilíbrio entre a fonte fotossintética (dimensão de IAF e eficiência fotossintética dos estratos foliares) e a existência de drenos metabólicos (perfilhamento, extensão de área foliar, alongamento de folhas e de haste) e que há condições de se obter maior produtividade por meio do manejo e do melhoramento genético.

A fotossíntese e o potencial de crescimento máximo são atingidos quando há folhas em número suficiente para interceptar cerca de 90% da luz incidente (menos de 10% da energia radiante alcança a superfície do solo), mas levando-se em conta que todos os outros fatores de crescimento para a planta são favoráveis. Neste caso considera-se o IAF "ótimo". IAF "crítico" é quando 95% da luz incidente é interceptada. No IAF "teto", a taxa de formação de folhas novas é igual à de morte das folhas inferiores (Gomide, 1994).

Sabe-se que a forma cônica da planta induz a um maior potencial produtivo do que a globosa, pois reduz o auto-sombreamento. Plantas cultivadas possuem folhas mais oblíquas, enquanto que as espécies selvagens destas mesmas plantas as

possuem mais na horizontal. Experimentos demonstram que existem IAF relativamente ideais para determinadas culturas: 3.2 para soja, 5 para milho, 6 a 8.8 para o trigo e 4 a 7 para o arroz (Yoshida, 1972). Os trabalhos de Brougham (1956) e Vilela (1975) demonstraram a estreita associação entre IAF, interceptação de luz e produção forrageira. Em gramíneas forrageiras, Lucchesi (1987) indica que quando o IAF estiver de 3 a 5, as mesmas devem ser utilizadas para corte ou pastejo, evitando um excessivo auto-sombreamento e propiciando uma dieta de maior qualidade para os animais. O mesmo autor ressalta que há casos em que adubações nitrogenadas induzem a alto IAF, mas em consequência acarretam baixa produtividade econômica. A afirmação explica em parte um certo descrédito por parte de alguns pecuaristas quanto à viabilidade econômica da adubação nitrogenada em pastagens. Se o pecuarista efetuar uma adubação nitrogenada e não conseguir utilizar o excedente de forragem produzido (por corte ou pastejo), o retorno econômico será provavelmente insatisfatório. O baixo retorno econômico é, portanto, decorrente de um manejo incorreto do pastejo e não da falta de resposta da forrageira à fertilização nitrogenada.

Manejar bem a área em pastejo é fundamental para que sejam obtidos alta produtividade e retorno econômico. Altos rendimentos forrageiros dependem da fixação do CO₂ via fotossíntese e só são possíveis por meio do manejo que favoreça a obtenção e manutenção de uma área foliar capaz de interceptar a maior parte da luz incidente (maximizando desta forma a produção primária), evitando, entretanto, um excesso de folhas, o qual acarretaria uma elevada taxa de senescência (que diminuiria a produção colhível). Se durante o processo de pastejo, consegue-se manter as plantas com área foliar suficiente para aproveitar bem a radiação disponível, sem, no entanto, folhas em excesso e que acarrete em elevadas taxas de senescência, tem-se então a possibilidade de se obter altas produtividades (faixa entre B e C da Figura 3). Porém, se considerarmos as diferenças nas características morfogênicas e estruturais associadas ao genótipo, haverá um IAF que promove um nível ótimo de crescimento, permitindo uma máxima interceptação da luz e uma melhor taxa de fotossíntese, para cada espécie forrageira.

Além da disponibilidade de área foliar, a produtividade de uma população vegetal é determinada, a cada instante, pelo conjunto de fatores do meio capazes de

agir sobre os processos elementares de elaboração de biomassa vegetal e pela resposta própria de cada componente genotípico da população (Nabinger, 1997), ou seja, a interação genótipo ambiente determina a produção vegetal em um determinado ambiente e período de tempo. No Brasil são utilizadas diversas espécies forrageiras e dentro destas, várias cultivares, de diferentes características morfofisiológicas, hábitos de crescimento, etc. Os diferentes genótipos podem diferir nas taxas de emissão e tempos de duração de vida das folhas, na tolerância a desfolha, ter maior ou menor auto-sombreamento dos extratos inferiores em um mesmo IAF, resposta a estresses, etc. Para que seja possível explorar o potencial de produção e crescimento de uma determinada planta forrageira é necessário conhecer a estrutura básica da planta e a maneira segundo a qual seus órgãos funcionais e seu metabolismo são afetados pelos estresses comuns a um ambiente de pastagem (Hunt & Field, 1979 citados por Silva & Pedreira, 1997).

2.2 MORFOGÊNESE

Morfogênese pode ser definida como a dinâmica de geração (*genesis*) e expansão da forma da planta (*morphos*) no espaço (Chapman & Lemaire, 1993). O desenvolvimento de uma gramínea é caracterizado pelo aparecimento e desenvolvimento de folhas, perfilhos, raízes e alongamento do colmo. O crescimento e a senescência de folhas e perfilhos são processos fisiológicos que caracterizam a dinâmica de crescimento da pastagem. As taxas de aparecimento e alongamento de folhas e duração de vida da folha constituem fatores morfogênicos do perfilho que sob ação do ambiente (luz, temperatura, água, nutrientes) determinam as características estruturais da pastagem, número e tamanho das folhas e densidade de perfilhos responsáveis pelo IAF (Chapman & Lemaire, 1993; Gomide, 1997).

A combinação de variáveis morfogênicas auxilia no entendimento das principais características estruturais das pastagens (Figura 4). Gillet *et al.* (1984), indicaram que as plantas possuem um padrão morfogênico programado geneticamente, cuja taxa é dependente da temperatura. A temperatura afeta divisão e expansão celular; a velocidade dos processos metabólicos e conseqüentemente o desenvolvimento da planta. O crescimento é, em geral, mais sensível às

temperaturas baixas do que a fotossíntese, o que pode permitir o acúmulo de fotoassimilados em órgãos de reserva quando o crescimento é reduzido.

A respiração é extremamente responsiva à temperatura, portanto incrementos térmicos podem restringir o acúmulo de reservas, taxas de crescimento, acúmulo de forragem e a própria sobrevivência da planta forrageira (Pedreira *et al.*, 1998). Os efeitos da temperatura variam com a espécie forrageira e com o hábito de crescimento.

Essa programação morfogênica determina o funcionamento e o arranjo dos meristemas em termos de produção e taxas de expansão de novas células as quais, por sua vez, definem a dinâmica de expansão dos órgãos (folha, internódio, perfilho) e as exigências de C e N necessárias para preencher os correspondentes volumes de expansão (Durand *et al.*, 1991). A taxa de formação e de expansão em volume de cada órgão determina uma demanda em carbono cujo suprimento pode ser limitado pelo tamanho do *pool* de carboidratos não estruturais, o qual é alimentado pela fotossíntese e pela despolimerização de reservas.

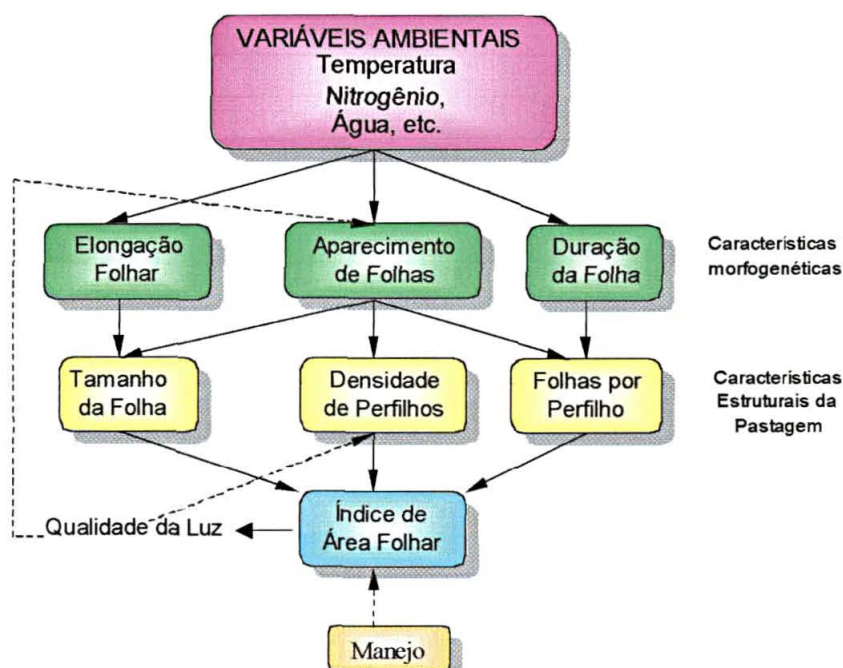


Figura 4 – Relação entre variáveis morfogênicas e características estruturais do pasto. Adaptado de Chapman & Lemaire (1993).

Em ausência de pastejo, e ainda em condições não limitantes ao crescimento (água, nutrientes, temperatura, radiação solar...), a taxa de acúmulo de biomassa é função do tempo térmico, uma vez que é a temperatura que regula a atividade meristemática. Normalmente se utiliza o conceito de graus-dia (GD) que, segundo Ometto (1981) é uma “*avaliação simplificada da energia que está à disposição da planta a cada dia*” e “*representa um acúmulo diário de energia acima de uma condição mínima e abaixo da máxima exigida pela planta*” (temperaturas de base). Quando as temperaturas diárias estão dentro da faixa compreendida entre as temperaturas de base, (T_b) o cálculo é simplificado e $GD = (T_{max} + T_{min})/2$ e quando $T_b < T_{min}$ $GD = (T_{min} - T_b) + (T_{max} - T_{min})/2$, ou se $T_b > T_{min}$ $GD = (T_{max} - T_b) / 2(T_{max} - T_{min})$.

Num perfilho a velocidade com que suas folhas são fabricadas (filocrono) é relativamente constante quando medida em graus-dia. Cada folha surgida sobre uma haste representa, na verdade, o surgimento de um novo fitômero. O acúmulo de massa numa haste é decorrente do acúmulo de fitômeros e do seu desenvolvimento individual (*expansão foliar, alongamento e engrossamento dos nós e entrenós*). Além do mais, qualquer planta adulta é constituída de várias hastes, mas estas se originaram de gemas contidas nos fitômeros da haste primária ou seminal no início do desenvolvimento da planta. Assim, é possível também esperar que uma vez que a velocidade de surgimento dos fitômeros de uma haste qualquer é constante em termos de tempo térmico, também o surgimento dos perfilhos ou ramificações sobre esta haste seja constante, conforme sugerem Klepper *et al.* (1982). Uma única planta pode apresentar várias gerações de perfilhos ou ramificações, pois cada gema axilar pode potencialmente formar um perfilho ou uma ramificação.

Em pastagens onde apenas folhas são produzidas, a morfogênese de plantas pode ser descrita por três características principais: taxa de aparecimento de folhas (TAP), taxa de alongamento de folhas (TAF) e duração de vida das folhas (Lemaire & Chapman, 1996). Essas características são determinadas geneticamente, mas podem, no entanto ser influenciadas por variáveis de ambiente como temperatura, suprimento de nutrientes e disponibilidade de umidade no solo.

2.2.1 Taxa de aparecimento de folhas (TAF) ou filocrono

A TAF desempenha papel central na morfogênese e, por conseqüência, no desenvolvimento do IAF, pois influencia diretamente cada um dos componentes da estrutura da pastagem (Figura 4). A relação direta da TAF com a densidade de perfilhos determina o potencial de afilhamento para um dado genótipo, pois cada folha formada sobre uma haste representa o surgimento de um novo fitômero, ou seja, a geração de novas gemas axilares. De um modo geral, alta TAF corresponde a alta densidade de perfilhos pequenos e a baixa TAF leva a uma menor densidade de perfilhos maiores. Portanto, a TAF determina grandes diferenças na estrutura da pastagem devido ao seu efeito sobre o tamanho e a densidade de perfilhos (Nabinger & Pontes, 2001), sendo influenciada por qualquer mudança de temperatura percebida pelo meristema apical (Peacock, 1975; Stoddart *et al.*, 1986).

A curva de resposta da TAF à temperatura muda rapidamente durante a transição do estágio vegetativo para reprodutivo em gramíneas temperadas (Peacock, 1975 e Parsons & Robson, 1980), resultando em maior potencial numa dada temperatura para o estágio reprodutivo do que para o estágio vegetativo (Gastal *et al.*, 1992).

Vários autores têm comentado que a TAF, durante o processo de crescimento da planta, tende a diminuir e que na verdade, a taxa de iniciação das folhas no meristema apical (plastocrono) permanece constante em função da temperatura, mas com o aumento do comprimento da bainha das folhas sucessivas de gramíneas cespitosas, há uma maior demora no surgimento das folhas acima do cartucho, conforme demonstrado por Lemaire & Chapman (1996), Duru & Ducrocq (2000) e Nabinger & Pontes (2001). Desta forma, a TAF de pastagens mantidas em baixo IAF por desfolhação freqüente aparenta ser maior do que a observada em pastejo rotativo.

A TAF parece menos afetado por limitações hídricas e nutricionais do que outras características morfogênicas, provavelmente devido ao fato de ser considerado um aspecto competitivo e, portanto, evolutivo importante. Ou seja, em condições de menor disponibilidade de carbono, parece lógico que ocorra inicialmente uma diminuição do perfilhamento, passando pela redução no tamanho

da folha e pela redução na duração de vida da mesma, sendo a TAF, a última a ser afetada. Gastal & Lemaire (1988) comentam que, em alguns experimentos e em condição de N limitado, foi observado algum efeito na TAF em gramíneas cespitosas como *F. arundinacea* (Lemaire, 1988), *L. multiflorum* (Lattanzi & Marino, 1997) e *Setaria anceps* (Cruz & Boval, 2000), mas que não foram estatisticamente significativas. Por outro lado, Cruz & Boval (2000) trabalhando com gramíneas estoloníferas, encontraram um efeito significativo do N na TAF para *Dichanthium aristatum* e praticamente insignificante para *Digitaria decumbens*. Os autores salientaram, entretanto, que este efeito pode ser consequência do aumento na alongação dos entre-nós, os quais “empurram” cada nova folha para fora da bainha da folha precedente quando a planta cresce em alta disponibilidade de N. Nabinger & Pontes (2001) citam trabalhos que mostram leves efeitos da disponibilidade de N e de moderados níveis de deficiência hídrica na TAF de *Brachiaria decumbens* (Ferragine *et al.*, 2001) e *L. corniculatus* (Morales *et al.*, 1997), respectivamente. Os mesmos autores citam que a TAF não é praticamente afetada por desfolhas moderadas e nem pela altura de pastejo (Eggers, 1999; Lemaire & Agnusdei, 1999; Pontes, 2000), mas é diminuída em cerca de 15 a 20% quando todas as folhas de um perfilho são removidas (Davies, 1974), o que demonstra a intensa força de demanda dos meristemas foliares por assimilados após uma desfolhação

2.2.2 Taxa de expansão foliar (TEF)

O alongamento foliar de gramíneas está restrito a uma zona na base da folha em expansão, protegida pelo conjunto de bainhas das folhas mais velhas ou pseudocolmo (Skinner & Nelson, 1995). A TEF é uma função das taxas de alongamento nas zonas de divisão celular (meristema intercalar), na zona de alongamento celular e nas zonas de deposição de nutrientes e formação da parede celular secundária que, em resumo, formam a zona de alongamento da folha dentro do pseudocolmo (Skinner & Nelson, 1995).

Na maioria das gramíneas temperadas a TEF aumenta de forma exponencial com o aumento da temperatura média diária, quando estas se situam entre 0 e 12° C e de forma linear acima destes valores, pelo menos até os valores ótimos, entre 20 e

25° C, conforme a espécie forrageira (Nabinger & Pontes, 2001). A zona de alongamento é um local ativo de grande demanda por nutrientes (Skinner & Nelson, 1994), principalmente N (Gastal & Nelson, 1994), onde sua disponibilidade afeta diretamente a TEF por meio do aumento do número de células. Pouco N é depositado fora da zona de alongamento das folhas, indicando que a síntese da rubisco é dependente do acúmulo de N na zona de divisão celular, ou seja, a capacidade fotossintética da planta é determinada no início do período de alongamento das folhas. Déficits de N podem comprometer a futura eficiência fotossintética das plantas (Skinner & Nelson, 1995), e resultar em TEF três a quatro vezes menores quando comparados a um nível não limitante (Gastal *et al.*, 1992).

A TEF também é afetada pela disponibilidade hídrica, sendo que Denardin (2001) trabalhando com *Briza subaristata*, encontrou variações entre 0,194 mm/°C e 0,476 mm/°C, de acordo com a disponibilidade hídrica, muito embora seja difícil dissociar o efeito direto da limitação hídrica sobre as características de crescimento, dos efeitos da conseqüente menor disponibilidade de N que inevitavelmente se verifica nestas condições.

Almeida *et al.* (1997) e Pontes (2000) observaram efeitos significativos da altura de corte sobre a TEF em capim elefante anão e azevém anual, respectivamente, o qual, segundo os autores, deveu-se a possibilidade de maior remobilização de N nos maiores resíduos. Os resultados demonstraram que a remobilização das folhas retidas na planta permitiram uma maior disponibilidade de N para o crescimento das folhas em alongação, compensando, em alguns casos, até mesmo a ausência de aplicação nitrogenada. A remobilização de N das folhas mais velhas para as folhas que estão em alongação é um processo que acompanha a senescência foliar. A quantidade de N remobilizado pode atingir até três quartos da quantidade de N contida nas folhas verdes (Lemaire & Chapman, 1996) e que, geralmente constitui-se em N metabolicamente ativo nos tecidos foliares, enquanto 20-25% da quantidade de N que não é remobilizado constitui-se em N foliar estrutural (Gastal & Nelson, 1994). Conforme Lemaire & Agnusdei (1999), por volta de 50 % do C e 80 % do N é reciclado das folhas durante o processo de senescência, podendo ser usado pela planta para a produção de novos tecidos foliares.

2.2.3 Duração de vida da folha (DVF) e número de folhas vivas por perfilho

A duração de vida das folhas e, por conseqüência, a senescência foliar, são influenciadas pela temperatura da mesma forma que a TAF (Nabinger & Pontes, 2001). Desta forma, quando um perfilho atinge seu número máximo de folhas vivas, passa a haver um equilíbrio entre a taxa de surgimento e senescência das folhas. O número máximo de folhas vivas por haste é uma constante genotípica (Davies, 1988) e que pode variar amplamente de uma espécie para outra. Lemaire & Chapman (1996) reportaram a existência de 2,5 folhas por afilho para *F. arundinacea*, enquanto Almeida *et al.* (1997) encontrou até 10 folhas vivas por afilhos de capim-elefante anão.

O número de folhas por afilho pode também ser usado como referência para calcular a duração de vida das folhas. Deste modo, *L. perenne*, que tem um filocrono de 110 graus-dia e um máximo de três folhas vivas apresenta uma duração de vida da folha de cerca de 330 graus-dia, enquanto que Festuca, cujo filocrono é de 230 graus-dia e 2,5 folhas vivas por perfilho, tem uma duração de vida da folha de 570 graus-dia (Lemaire, 1988).

Deficiência de N reduz apenas ligeiramente a duração de vida das folhas (Gastal & Lemaire, 1988), mas, a taxa de senescência aumenta devido ao pronunciado efeito do N sobre a TEF e o tamanho da folha (Mazzanti & Lemaire, 1994). Assim, um aumento nas doses de N aplicado, sem um adequado ajuste no manejo do pastejo, pode levar a um aumento na senescência a ao acúmulo de material morto na pastagem.

2.2.4 Tamanho final da folha (TFF) e comprimento da bainha

Os fatores determinantes do tamanho da folha, segundo o esquema proposto por Lemaire & Chapman (1996), apresentado na Figura 4, são a TEF e a TAF. Enquanto a TEF está diretamente correlacionado com o tamanho final da folha, folhas de menor tamanho são associadas a maior TAF. A altura da bainha é outro fator importante a ser observado, pois quanto maior o seu comprimento maior será a fase de multiplicação celular, ou seja, mais tempo a folha que está em expansão

ficará protegida pela bainha da luz direta (Davies & Thomas, 1983) e, conseqüentemente, maior será o tamanho da lâmina (Duru & Ducrocq, 2000). No trabalho de Pontes (2000) as maiores alturas de manejo da pastagem de azevém propiciaram maior comprimento de bainha e, por conseqüência maior comprimento de lâmina foliar. O comportamento observado nesta característica (tamanho das folhas) é um bom exemplo da inter-relação existente entre as características morfogênicas e estruturais da pastagem, já que as folhas dessa espécie se apresentaram mais curtas nas menores alturas pela redução da TEF, associada a um filocrono constante (Nabinger & Pontes, 2001).

O comprimento da lâmina foliar é uma característica morfológica altamente influenciada pelo ambiente, sendo considerada uma característica vegetal plástica. A plasticidade se manifesta, por exemplo, em resposta à intensidade de desfolha. Em pastagens sujeitas à maior intensidade de desfolha, ocorre a diminuição do comprimento das lâminas foliares (Eggers, 1999), sendo esta característica considerada como uma estratégia morfológica de escape da planta ao pastejo (Lemaire & Chapman, 1996). Outro aspecto a considerar é que devido à resposta linear da TAF à temperatura, o tamanho das folhas (relação TEF/TAF) aumenta com aumentos na temperatura ambiente e, em temperaturas similares as folhas são maiores na fase reprodutiva do que na fase vegetativa (Nabinger & Pontes, 2001).

2.2.5 Densidade de perfilhos e relação lâmina foliar:caule

A produção contínua de novos perfilhos e fitômeros, para reposição daqueles que morreram e/ou foram pastejados, é fator chave na persistência das gramíneas. Gramíneas anuais revelam menor persistência devido a não apresentarem perfilhamento após o florescimento (Favoretto, 1993).

Um maior número de gemas meristemáticas próximas ao solo assegura maior capacidade de rebrota da planta tanto sob cortes quanto manejo intenso, pois estas dificilmente são removidas ou danificadas.. Plantas com as gemas mais próximas ao solo toleram utilização mais intensa e se recuperam com maior facilidade. Por outro lado, plantas com gemas situadas mais longe do solo devem ser utilizadas com mais

moderação, pois cortes ou pastejos intensivos poderão comprometer sua capacidade de rebrote (Zimmer *et al.*, 1988).

A produção de matéria seca por perfilho é dependente da TAF, da TEF, do tamanho final da folha e da duração de vida das folhas. Mas a produção por área e a estrutura da pastagem é dependente da densidade de perfilhos da pastagem. A densidade de hastes da pastagem é resultante do equilíbrio entre a taxa de surgimento de perfilhos (TSP) e a taxa de mortalidade dos perfilhos. A TSP potencial na ausência de competição, decorre do sincronismo existente entre o desenvolvimento das folhas e dos perfilhos (Etter, 1951; Klepper *et al.*, 1982; Hay & Kemp, 1990; Kirby, 1990; Skinner & Nelson, 1994). Estes estudos geraram o desenvolvimento do conceito de "ocupação de sítios" (*site filling*) (Davies, 1974; Neuteboom & Lanting, 1989), do qual pode-se derivar a TSP potencial a partir da TAF. Mas numa pastagem, a TSP potencial só pode ser atingida quando o IAF é baixo. Com o aumento da área foliar, diminui o perfilhamento, sendo que em IAF acima de 3 a 4, a TSP decresce até ser nula (Simon & Lemaire, 1987).

Davies & Thomas (1983) e Frank & Hofman (1994) sugeriram que a não ativação das gemas é devida não apenas a baixa quantidade da luz, que ao atravessar o perfil vegetal chega à base das hastes, mas sobretudo a qualidade desta luz ou seja da relação vermelho/vermelho-distante. Assim, quanto mais densa a população de plantas, maior é a quantidade de gemas que permanecem "dormentes".

Deficiências de N (Lemaire, 1988) e de água (Morales *et al.*, 1997) diminuem o perfilhamento de forma mais acentuada do que a TAF e a TEF.

Em pastejo, a competição entre plantas normalmente impede que o perfilhamento potencial seja alcançado. Além disto, a decapitação em função do manejo adotado e o déficit de carbono resultante da competição por luz, dentre outros fatores, leva à morte dos perfilhos (Chapman & Lemaire, 1993).

Apesar dos efeitos positivos da adequada disponibilidade de N sobre a TSP, altas disponibilidades deste elemento podem determinar uma menor densidade de perfilhos na pastagem devido ao mais rápido desenvolvimento do IAF e ao aumento na mortalidade.

Assim, pastejo intenso determina uma maior densidade de perfilhos do que uma baixa pressão de pastejo. Em ambas situações a densidade de perfilhos é influenciada pela disponibilidade de N, quando comparadas num mesmo IAF (Mazzanti & Lemaire, 1994).

Finalmente, cabe lembrar que a densidade de perfilhos numa pastagem reflete primeiramente uma condição genotípica ligada à TAF de cada espécie. Mazzanti & Lemaire, (1994) verificaram que para um IAF de 3 a pastagem de Festuca apresentava entre 4.000 a 6.000 perfilhos/m², enquanto para Azevém perene num IAF similar este número atinge normalmente mais do que o dobro destes valores (Davies, 1988).

Outro aspecto a considerar é a relação lâmina foliar:caule, a qual é uma variável de importância para a nutrição animal e para o manejo das plantas forrageiras. Alta relação folha:caule está, normalmente, associada a maior teor de proteína, digestibilidade e consumo. Deinum *et al.*, citados por Zimmer *et al.* (1988), observaram em *Brachiaria ruziziensis*, que a percentagem de folhas está relacionada com o peso e idade dos perfilhos. Perfilhos mais velhos e desenvolvidos possuem menor percentagem de folhas, ou seja, a relação folha:caule diminui à medida em que os perfilhos envelhecem. A percentagem de folhas diminuiu de 73% para 47% quando a idade de rebrote passou de 2 para 5 semanas de idade, sendo observado no mesmo período uma redução no teor de proteína e um aumento no teor de fibra bruta.

2.2.6 Aplicabilidade dos conceitos de morfogênese

O conhecimento da dinâmica do desenvolvimento vegetal que resulta na produção e na estrutura da forragem ofertada aos animais deve ser associado ao entendimento de que este processo representa a integração entre o genótipo e o meio ambiente em que ele ocorre. Neste sentido, os estudos de morfogênese não podem deixar de estar associados aos controles do meio que determinam a demanda e a oferta de carbono, como a temperatura, disponibilidade de minerais (principalmente nitrogênio) e água. A necessidade de trabalho multidisciplinar deve ser considerada, pois o sistema pastoril é complexo e exige uma abordagem ampla.

Somente desta forma poder-se-á adotar um enfoque analítico e explicativo da produção de forragem e de sua transformação em produto animal e que possibilite embasar decisões de manejo que sejam reprodutíveis em qualquer meio. Assim, estudos que busquem preconizar o manejo com base em características morfogênicas como duração de vida das folhas, intervalo de aparecimento de folhas (Grant *et al.*, 1988; Parsons & Penning, 1988) e número de folhas vivas por perfilho (Fulkerson & Slack, 1994; Silva & Pedreira, 1997) tornam o manejo mais objetivo. Além disso, favorecem a eficiência de uso da forragem produzida (Lemaire & Chapman, 1996) evitando excesso de perdas por senescência e morte.

Com o uso de tais índices é possível visualizar as curvas da taxa de acúmulo e de senescência de forragem e, conseqüentemente, obter a máxima produção líquida em função de determinada condição do relvado, que pode ser expressa em altura, IAF ou matéria seca residual (Bircham & Hodgson, 1983; Grant *et al.*, 1988). O conhecimento da morfogênese das plantas que compõem uma pastagem ajuda na tomada de decisões de manejo, incluindo desde a adubação e irrigação, ao controle da densidade de animais (Nabinger & Pontes, 2001).

2.3 EFEITO DOS NUTRIENTES NO DESENVOLVIMENTO VEGETAL

A necessidade de se nutrir adequadamente uma planta para que ela cresça e se desenvolva de forma adequada é conhecida e aceita há muito tempo, porém alguns mecanismos desse processo ainda precisam ser elucidados.

A assimilação e as perdas de CO₂ por meio da fotossíntese e da respiração são altamente dependentes do suprimento de água e de nutrientes. A resposta da fotossíntese ao suprimento de água e nutrientes é relacionada à atividade fotossintética da folha e à distribuição espacial da área de folhas verdes. Deficiências hídricas ou minerais podem limitar a evolução da área foliar e, conseqüentemente, diminuir a eficiência de interceptação, o que se traduz em baixa taxa de crescimento.

Ingstad (1963) encontrou regressões lineares altamente significativas entre qualquer combinação de duas das seguintes variáveis: taxa relativa de adição de nutrientes, taxa de crescimento relativo e teor de nutrientes nas plantas. Apesar dos diversos nutrientes participarem do processo de crescimento da planta, o N parece

ter um efeito destacado. O mesmo autor cita que: “Os teores de K, P, Ca e Mg tiveram uma influência secundária no crescimento quando os níveis de N estavam abaixo do ótimo, sendo que as correlações entre teor de N e a taxa de crescimento foram extremamente altas”.

Greenwood *et al.* (1986) sugeriram que a fotossíntese declina quase que linearmente com o decréscimo da percentagem de N na folha e que dentro de certos limites e condições, a taxa de crescimento da planta é aproximadamente proporcional à sua porcentagem de nitrogênio, quando esta é menor que a concentração crítica. O papel do N no crescimento vegetal é tão evidente que Agren (1985) propôs o desenvolvimento de uma teoria baseada na aceitação de que o crescimento das plantas é determinado pela quantidade de N nas mesmas. O efeito positivo do N na produção de matéria seca pode ser explicado, principalmente, por uma interceptação de luz, que leva a uma maior assimilação de C por unidade de área, resultante da interação entre o teor de N nas folhas e a taxa de expansão foliar (Gastal, *et al.*, 1992).

Um baixo nível de nitrogênio disponível tem como consequência uma menor taxa de expansão foliar e duração de vida da folha, duas características morfogênicas determinantes da estrutura do IAF. Associa-se a este efeito quantitativo (tamanho do IAF) o efeito qualitativo da diminuição na taxa de fotossíntese por unidade de área foliar em baixa disponibilidade de N (menor concentração da rubisco), similarmente ao que acontece com deficiência hídrica (fechamento estomático) (Gastal & Durand, 2000).

Um outro possível efeito da adubação nitrogenada é sobre a taxa de senescência. Os processos de deterioração que acompanham o envelhecimento e que levam à morte de um órgão ou organismo são chamados de senescência, a qual é geneticamente programada para cada espécie, órgão ou tecido nas plantas (Salisbury & Ross, 1991).

Nas folhas, a senescência determina uma série de mudanças como: declínio da capacidade fotossintética, da taxa respiratória, da integridade das membranas celulares, dos níveis de clorofila, de carboidratos, de lipídios, de RNA e de proteínas, localizadas, sobretudo no cloroplasto, processo resultante da atividade de enzimas hidrolíticas (Awad & Castro, 1983).

Como estes e outros constituintes celulares são constantemente sintetizados e degradados, a perda pode ser resultante de síntese mais lenta e/ou da quebra mais rápida (Salisbury & Ross, 1991).

O início da senescência pode ser influenciado por vários fatores, dentre os quais se encontra a nutrição mineral da planta. Clorose, necrose e senescência da folha são sintomas típicos de deficiência mineral. É muito comum um processo de senescência ser iniciado como resposta direta à deficiência, resultando na redistribuição do nutriente limitante dos tecidos velhos para estruturas em desenvolvimento como folhas novas e frutos. Isso é particularmente observado para nutrientes móveis como N, K, P, Mg, Na e Cl (Thomas & Stoddart, 1980). De forma semelhante ao que foi observado para a expansão foliar, o N é considerado o principal nutriente relacionado a senescência.

Wolfe *et al.* (1988) trabalhando com milho verificaram que a deficiência de N reduziu a longevidade das folhas. Wilman & Mohamed (1980) trabalhando com *Lolium perenne* e *Festuca arundinacea* mostraram que a aplicação de N aumenta a taxa de alongação e também a proporção de folhas verdes, sendo que este último efeito foi atribuído a uma maior interferência do N na produção que na senescência e morte dos tecidos.

Wilman & Martins (1977) e Pearse & Wilman (1984) ressaltaram que o N diminuiu a taxa de senescência no início da rebrota, porém aumentando-a posteriormente. Esta observação é, provavelmente, devido ao aumento de área foliar proporcionado pela maior disponibilidade de nitrogênio num primeiro momento e que conseqüentemente aumenta a taxa de assimilação de carbono. Com maior assimilação de carbono, há uma conseqüente maior demanda de nitrogênio e um aumento do sombreamento das folhas inferiores da planta, o que implica numa maior taxa de senescência numa segunda etapa.

2.4 CONCEITOS DE PRODUTIVIDADE DE PLANTAS FORRAGEIRAS

Em relação ao ambiente é útil distinguir, por motivos agronômicos, os fatores e condições passíveis de serem modificados por práticas agrícolas, daqueles que não o são. Assim, é possível definir a produtividade potencial como aquela possível de

ser obtida quando todos os fatores modificáveis do meio são levados a um nível ótimo. Nestas condições a produtividade potencial é diretamente dependente dos fatores não modificáveis do meio. Quando um ou mais fatores modificáveis do meio são mantidos a um nível limitante, a produtividade real é reduzida em relação a potencial, a um nível que é determinado pelo fator mais limitante. Dentre os fatores do meio, a temperatura e a radiação podem ser considerados como não modificáveis em condições agrônômicas. Na ausência de outras limitações, a primeira variável representa a oferta e a segunda determina a demanda, uma vez que é o fator que comanda a morfogênese. Todos os demais fatores como nutrientes, água, etc. são passíveis de serem manipulados.

O conhecimento da produtividade potencial constitui-se numa importante “ferramenta” de diagnóstico e estudo da ação dos fatores do meio na produtividade e da possível resposta da modificação destes.

2.5 NOÇÕES DE SISTEMAS MODELOS E SIMULAÇÕES EM PESQUISA EM FORRAGICULTURA

2.5.1 Modelos e simulação

É algumas vezes difícil assimilar e avaliar a grande quantidade de conhecimentos que são produzidos em um determinado assunto ou linha de conhecimento científico. Isto, sem dúvida afeta a possibilidade de por em prática os resultados de pesquisa e orientar corretamente as prioridades e a utilização de recursos.

O experimento científico é definido como uma experiência na qual se provoca deliberadamente alguma modificação e/ou transformação e se observa e interpreta o resultado com alguma finalidade cognitiva. No experimento, o objeto permanece rodeado por um meio artificial em que alguns fatores, com base em suposições, são controlados. Este controle se exerce tanto sobre os estímulos que devem provocar a reação do objeto como sobre o próprio objeto (Bunge, 1972 citado por Cangiano, 1999).

Em alguns casos não é possível aplicar os estímulos a sistemas reais, seja por limitações técnicas, econômicas e/ou morais. Nestes casos pode-se realizar experimentos com modelos. Quando não se pode nem sequer utilizar um modelo concreto, pode-se imaginar um sistema conceitual que imite algumas das características do sistema real e se introduzem algumas mudanças para estimar as reações correspondentes, com ajuda de alguma teoria. Este tipo de experimentos, mediante o uso de computadores, vem ocupando o espaço de muitos experimentos efetivos na ciência aplicada, principalmente quando se têm princípios científicos aceitos e comprovados e que sirvam de parâmetros para o desenvolvimento dos modelos.

Os computadores permitem que a simulação seja factível, rápida e econômica, porém nenhum modelo pode substituir a realidade. A construção de modelos teóricos é adequado para por à prova sistemas concretos com base em idéias que já tenham superado o contraste com experimentos reais. Por isso, a simulação têm futuro na aplicação de tecnologia e pouco ou nenhum em ciência pura, já que não produzem teoria e nem a submetem validamente a contrastação (Bunge, 1972 citado por Cangiano, 1999). Considera-se que estes modelos teóricos são apropriados para o estudo de sistemas em distintas disciplinas.

2.5.2 Sistemas e modelos

Quando dois ou mais objetos (materiais) se juntam mediante uma interação forte de um modo específico, constituem um sistema concreto, podendo, por exemplo, formar um novo produto complexo e que possui uma estrutura definida (Manher & Bunge, 1997). Aristóteles já havia intuído que “*o conjunto é maior que a soma das partes*”. Em agronomia, é óbvio que a maioria dos estudos científicos são sistemas. Dentro deste enfoque, podemos conceituar dois tipos diferentes de insumos: os que em geral são incontroláveis e que representam o ambiente e os que indicam estratégias de manejo, representando a intenção do homem em controlar o comportamento do sistema (Figura 5).

Os modelos são representações simplificadas ou abstratas do sistema real, baseados em grupos ordenados de hipóteses e com um propósito definido. Modelos

podem facilitar uma melhor compreensão do sistema e com possibilidade de aprimoramentos a partir de modificações feitas a um já existente (Silva, 1980).

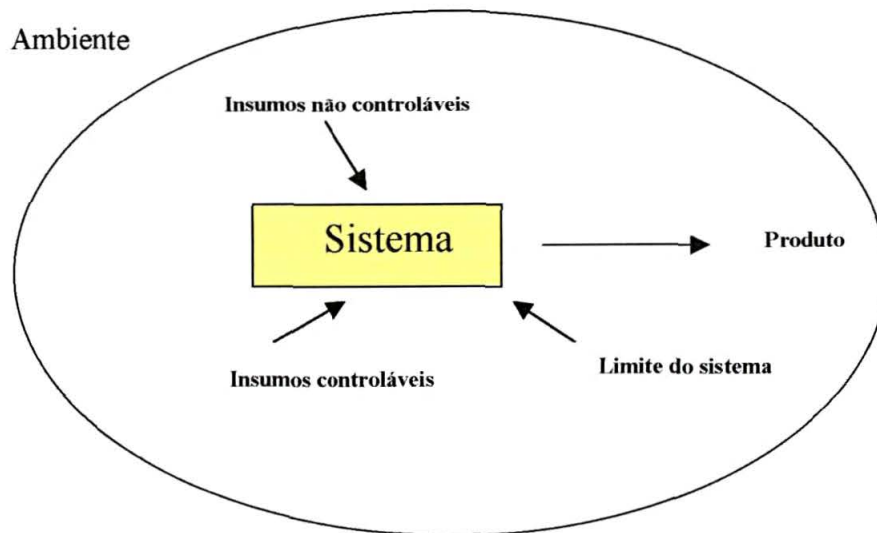


Figura 5- Esquema conceitual de um sistema

De acordo com o tamanho e os limites definidos para um sistema, e por conseqüência para o modelo, existe uma ampla oportunidade para definir sistemas e estabelecer distintos níveis de hierarquia, resolução ou detalhe dos mesmos. A pesquisa estruturada desta forma poderia gerar uma estreita cooperação entre disciplinas e um constante intercâmbio de idéias e informações. No campo da pesquisa poder-se-ia trabalhar de forma que, em base a observações de uma situação real, se formulassem hipóteses e, a partir destas, se conduzissem experimentos para provar as mesmas. Da análise desses resultados poder-se-ia então fazer recomendações ou reformular o modelo (Figura 6).

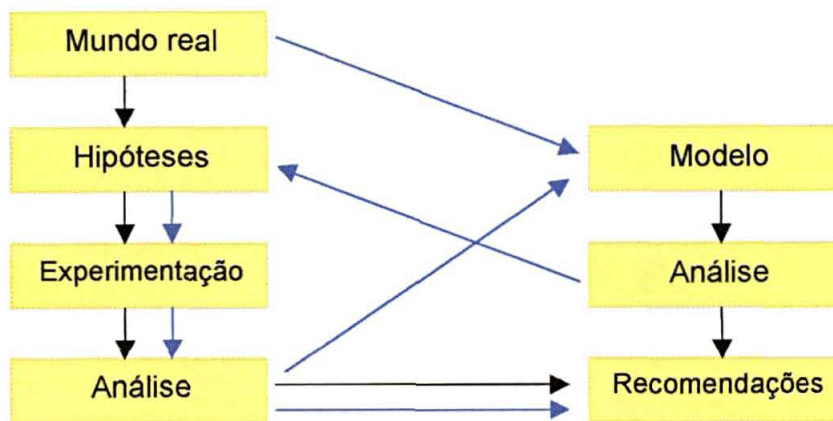


Figura 6- Esquema de enfoques de pesquisa.

Este enfoque pode ser utilizado, por exemplo, visando à incorporação de resultados de pesquisa à prática agrícola. Na alternativa indicada pelas setas azuis (Figura 6), observa-se que partindo-se da situação real pode-se construir um modelo. Recomenda-se que inicialmente adote-se um modelo simplificado e que possa ir sendo detalhado com o avanço do trabalho.

Com base no modelo, pode-se desenvolver hipóteses, por meio de provas de sensibilidade. Os experimentos a realizar serão definidos de acordo com as prioridades indicadas por estas provas. A análise dos resultados destes experimentos indicará as modificações necessárias no modelo. Estes procedimentos efetuados sucessivamente podem dar suporte a um “refinamento” das recomendações práticas. Desta forma, o modelo provê uma base para recomendações práticas de manejo e tecnologias associadas, e um marco para guiar, coordenar e avaliar a pesquisa. Entretanto, não se deve entender a modelagem e simulação como excludentes da experimentação real, mas sim, como atividade complementar, já que o processo de modelagem não pode existir sem a experimentação e formulação de hipóteses acerca de sistemas reais. Por outro lado, se sugere que os modelos podem ajudar numa melhor utilização dos, cada vez mais escassos, recursos financeiros disponíveis para a pesquisa agrícola (Black *et al.*, 1993) e num melhor entendimento das potencialidades e limitações ambientais à obtenção de maiores produtividades.

2.5.3 Modelos matemáticos do desenvolvimento das plantas

Com a finalidade de estabelecer comparações entre os rendimentos dos experimentos ou das lavouras desenvolveu-se o conceito teórico de modelo potencial de rendimento. O modelo mais utilizado é baseado na relação linear entre matéria seca aérea (MSa) acumulada e a quantidade de radiação solar interceptada pela cultura (Gosse *et al.* 1984). Esse modelo potencial foi estabelecido e validado para condições nutricionais e de água não limitantes. Por meio destas relações é possível estimar, com parâmetros climáticos simples, a produtividade potencial de uma cultura para um dado local.

2.5.4 Modelos de estimativa da produtividade potencial

O uso do conceito de rendimento energético na análise de crescimento das culturas tem sido amplamente utilizado nos últimos anos (Biscoe & Gallagher, 1977; Warren, 1981; Varlet-Grancher *et al.*, 1989), colocando em evidência a importância da interceptação da radiação solar nas variações do rendimento.

Em condições hídricas e minerais não "limitantes", diversos autores têm estabelecido uma relação linear entre a MSa acumulada por uma cultura e a quantidade de energia interceptada (Biscoe & Gallagher, 1977; Gosse *et al.*, 1984).

Equação 1 $MSa = \alpha PARa$

A radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR), que é absorvida por uma cultura (PARa) se expressa por meio da seguinte relação:

Equação 2 $PARa = (PARi + PARs) - (PARr + PART)$

em que:

i = interceptada pela cultura
s = refletida pelo solo
r = refletida pelo solo mais a cultura
t = transmitida ao solo

Esta radiação útil à fotossíntese e que é absorvida pela cultura (PARa), também pode ser expressa como a relação entre a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa que incide sobre a vegetação (PARin) e a eficiência com que esta é utilizada pela cultura (Ea). A eficiência desta utilização, ou seja, a capacidade de transformar esta radiação interceptada em energia necessária aos processos vitais de respiração, transpiração e crescimento (matéria seca: folhas, caules, flores, frutos, raízes) depende exclusivamente de características morfológicas da vegetação, tais como: propriedades óticas das folhas e do solo, inclinação das folhas, arranjo de plantas, índice foliar, etc. Assim, pode-se também expressar a quantidade de radiação absorvida da seguinte forma:

PARa = Ea * PARin, onde Ea é a eficiência de absorção, portanto um componente biológico da equação, enquanto PARin é o componente climático desta mesma equação, dependente da radiação global (Rg) recebida acima da cultura.

A Ea da cobertura vegetal pode ser obtida por diferentes meios:

a) a partir da medida dos diferentes componentes do balanço de radiação, ou seja

Equação 3 **$Ea = 1 - CT + CRs + CRr$**

em que:

- CT é o coeficiente de transmissão de PAR, calculado por **$CT = PARt/PARin$** ;

- CRs é o coeficiente de reflexão de PAR pelo solo, calculado por $CRs = PARs/PARin$;
- CRr é o coeficiente de reflexão de PAR pela cobertura vegetal e solo, calculado por $CRr = PARr/PARin$

b) a partir do índice de área foliar (IAF) e de ajustes da equação

Equação 4 $Ea = B * (1 - \exp(-k*IAF))$

ou Ea estimado, onde B representa o máximo possível de interceptação, portanto com um valor em torno de 0,95. O IAF deve ser medido por meio da curva de crescimento da parte aérea ao longo do ciclo. A partir de amostragens freqüentes da vegetação sobre uma superfície conhecida, separam-se as folhas e colmos, mede-se a superfície dos limbos foliares por meio de um planímetro ótico ou outro meio qualquer e a partir destes elementos, calcula-se a área de folhas por unidade de área de solo ocupada. K representa o coeficiente de extinção e pode ser obtido por meio da “Lei de Beer” : $I = I_0 * e^{-K*IAF}$ (Monsi e Saeki, 1953)

Dada a ampla variedade de espécies vegetais e na medida em que a vegetação pode apresentar diferentes estruturas no espaço e no tempo, o que determina diferentes interceptações de luz, taxas de fotossíntese e competição entre plantas, existe um valor típico de K para cada cultura, *stand* e estágio do desenvolvimento vegetal (Campbell, 1986, 1990). O coeficiente K pode ser calculado obtendo-se a Ea por meio da equação 3, aplicando-a na equação 4 após ter-se obtido os valores de IAF.

c) com base em um modelo de penetração da radiação (Varlet-Grancher *et al.* 1989; Bonhomme & Varlet-Grancher, 1977) e de parâmetros característicos da vegetação: inclinação das folhas, propriedades óticas das mesmas, índice foliar, etc. É o Ea modelado.

O outro componente da equação (PARin), ou seja a quantidade diária de energia útil à fotossíntese que incide sobre a vegetação é estimado a partir da

radiação global (Rg) obtida no posto meteorológico mais próximo ou, de preferência, medido diretamente sobre a cultura.

Para o caso da alfafa, Gosse *et al.* (1984), na França, utilizaram estes conceitos e obtiveram um ajuste linear satisfatório entre o acúmulo de MS da parte aérea e o PARa em diferentes rebrotes e estações do ano (primavera e verão). Esta equação tem sido utilizada com sucesso, na interpretação de resultados de pesquisa, na orientação dos melhoristas e, sobretudo, na predição do rendimento pelos agricultores produtores de alfafa destinada à indústria de desidratação, permitindo um planejamento adequado da demanda industrial.

No modelo obtido pelos citados autores, a produção de matéria seca da parte aérea (MSa) é predita por meio da equação:

$$\text{Equação 5 } \mathbf{MSa = 1,76 * PARa}$$

onde PARa é uma variável sintética que não pode ser medida diretamente. Assim, necessita ser estimada com base nos seus componentes biológico e climático, ou seja,

$$\text{Equação 6 } \mathbf{PARa = Ea * PARin}$$

e

$$\text{Equação 7 } \mathbf{PARin = 0,48 * Rg} \text{ (componente climático)}$$

em que Rg é a radiação solar global medida no posto meteorológico mais próximo e onde Ea pode ser modelado por meio da equação

$$\text{Equação 8 } \mathbf{Ea = 0,97(1 - \exp(- 0,88 * IAF))} \text{ (componente biológico)}$$

A estimação deste componente biológica das equações (4 e 8) demandaria medidas do índice foliar ao longo do crescimento, o que inviabilizaria o modelo como preditivo. No entanto, a estabilidade da relação entre IAF e acúmulo de temperaturas permitiu a modelagem também deste componente por meio da equação:

$$\text{Equação 9 } \text{IAF} = 9.2 \cdot 10^{-3} \cdot \Sigma\theta$$

em que $\Sigma\theta$ é a soma de graus-dia, que representa uma evolução linear do IAF em função do acúmulo de temperaturas do início do rebrote até o florescimento (aproximadamente 450 graus-dia).

A integração das equações 6, 7, 8 e 9 na equação 5 permite obter a seguinte equação:

$$\text{Equação 10 } \text{MS} = 0.854(Rg(1 - \exp(-8.1 \cdot 10^{-3} \cdot \Sigma\theta)))$$

que estima a produção potencial de biomassa aérea da alfafa baseada apenas nos componentes Rg e na $\Sigma\theta$, facilmente obtidos no posto meteorológico mais próximo.

A robustez do modelo tem sido testada em diferentes condições climáticas e com plantas com metabolismos diferentes (C_3 e C_4). Trabalhos realizados com alfafa (Pandolfo, 1995), e com girassol (Barni, 1994) atestam a utilidade do modelo, mesmo em condições diversas daquelas em que foi desenvolvido.

O modelo prediz com precisão os crescimentos, necessitando ser ajustado para para as condições locais e para as espécies e variedades e, sobretudo, para os períodos de outono e inverno (Viégas, 1998), quando as baixas temperaturas podem modificar a prioridade de alocação dos assimilados, modificando a relação parte aérea/raiz. Além disto, a inclinação solar e as condições atmosféricas podem se traduzir em alguma modificação na relação PAR_{in}/Rg e a E_a pode ser diferente em função da arquitetura da planta, tamanho e espessura dos folíolos, relação folha/caule etc.

França *et al.* (1997) avaliando o comportamento dos diferentes componentes do balanço de radiação em uma cultura de alfafa na região da Depressão Central do

Rio Grande do Sul no período de outono-inverno, obtiveram uma razão PARa/Rg da ordem de $0,42 \pm 0,02$, considerando os horários entre 8 e 17 horas, valores que concordam com os observados por Pandolfo, (1995), que encontrou um valor de 0,43 em média, na mesma região, no período primavera-verão.

2.5.5 Limitações ao modelo de produtividade potencial

Os modelos demonstram relações em condições não limitantes, sendo estas, portanto, consideradas como referência. Desta forma, qualquer fator que limite a produtividade, diminui a acurácia do modelo, e dentre estes merecem destaque, a disponibilidade de água e nutrientes (principalmente nitrogênio):

a) Disponibilidade hídrica: devido a inúmeras interações entre o estado hídrico da planta e do solo e seus efeitos sobre os processos metabólicos da planta, este fator, apenas recentemente tem sido objeto de modelagem em plantas forrageiras. É, no entanto, seguramente, o fator de mais difícil controle, determinando freqüentemente interpretações errôneas sobre a ação dos demais fatores que afetam o desenvolvimento e crescimento das plantas. Desta forma, torna-se imperativo o controle do estado hídrico da planta e do solo (tensiometria, balanço hídrico, etc.), para que o modelo de produtividade potencial baseado na interceptação da radiação e na temperatura possa ser corretamente ajustado.

b) Disponibilidade de nitrogênio: Este nutriente é considerado um dos principais fatores responsáveis pela produtividade em gramíneas forrageiras, sendo fundamental no processo de crescimento foliar (Gastal & Nelson, 1994; Mc Adam *et al.* 1989) e conseqüentemente no IAF, na taxa de acúmulo de matéria seca pela fotossíntese e na partição de carbono entre a parte aérea e radicular. Apesar da grande importância deste nutriente na produção vegetal, faltam informações confiáveis sobre os níveis de adubação nitrogenada que permitiriam que uma determinada forrageira atingisse seu máximo potencial de rendimento em um determinado local. Utilizando-se apenas uma variável, como por exemplo o nitrogênio, pode-se obter um modelo teórico para este

fator. Os resultados experimentais podem, então, ser comparados com o modelo potencial teórico (Viégas, 1998).

2.5.6 Curva de diluição do nitrogênio e modelo de resposta a adubação

O nitrogênio (N) é o elemento mais crítico na produção de matéria seca (MS) de gramíneas e tem sido objeto de muitos estudos. A identificação do nível ótimo de N que possibilita a máxima matéria seca acumulada (MSa) de aveia é importante para ensaios que visam comprovar o modelo de rendimento potencial proposto por Gosse *et al.* (1984). Greenwood *et al.* (1986) observaram que a concentração de N decresce à medida que as plantas se desenvolvem, mesmo quando existe um suprimento suficiente de N e de outros nutrientes. Salette *et al.* (1989), apresentaram um modelo que relaciona o teor de N na MS com a MSa para gramíneas. O uso de modelos de diluição de nutrientes permite detectar o nível nutricional durante o desenvolvimento das plantas, sobretudo N, possibilitando aferir estas condições em estudos de validação de modelos de acúmulo de biomassa.

A assimilação e partição de C é influenciada pelo “status” de N da planta (Lemaire & Chapman, 1996). Trabalhando com festuca cv. Clarine e *Dactylis glomerata* (dactilis) cv. Floreal, Lemaire & Culleton (1989) observaram que as produções de forragem foram crescentes com o aumento dos níveis de N, e que apesar de não haver grandes diferenças de produtividade entre as doses de 100 e 150 kg N/ha, de acordo com as curvas de diluição de N no tecido vegetal pode-se detectar que houve limitação no crescimento das plantas na menor dose, não tendo sido atingido o teor crítico de N para o máximo crescimento.

A concentração de N orgânico nas plantas deve exceder um mínimo ou “concentração crítica” para ser obtida a máxima taxa de crescimento. À medida que as plantas crescem apresentam proporções cada vez maiores de materiais estruturais e de armazenamento que contêm pouco N, portanto, a concentração de N nas plantas decresce (Greenwood *et al.*, 1986). Lemaire *et al.* (1991) também constataram um decréscimo intrínseco dos requerimentos de N à medida que as plantas se desenvolvem, primeiramente, pelo maior conteúdo de material estrutural, e em segundo lugar pelo crescente sombreamento das folhas mais velhas o que

leva a uma remobilização do N para as folhas mais novas. Esta remobilização deve ser encarada como o resultado de uma estratégia de repartição do N com o objetivo de otimizar o funcionamento do aparato fotossintético. Ou seja, na planta existem dois compartimentos em relação ao N, sendo o primeiro metabólico (principalmente N associado à fotossíntese), e o segundo estrutural. A quantidade de N no primeiro compartimento é muito maior que no compartimento estrutural. A evolução do conteúdo de N na planta é determinada pela evolução da relação entre os dois compartimentos (Nabinger, 1997).

Lemaire & Culleton (1989) demonstraram que 75 a 80% do N nas folhas de festuca é reciclado dentro da planta e, somente, 20 a 25% é perdido para o solo via senescência de folhas velhas. Lemaire & Sallete (1984) demonstraram que o teor de N de uma pastagem pode estar relacionado ao acúmulo de MS durante o crescimento ou rebrote pela seguinte equação:

Equação 11 $N\% = a (W)^{-b}$

na qual:

W = peso da biomassa aérea em toneladas/ha;

N% = teor de N da biomassa;

a = N% para a primeira tonelada de biomassa;

b = coeficiente de diluição de N durante o crescimento ou rebrote;

sendo que:

Se $b = 0$, a % de Nitrogênio (N%) permanece constante durante o rebrote, e se $b = 1$ existe um incremento da biomassa aérea sem qualquer incremento no consumo de N, promovendo a diluição do teor de N no tecido.

Segundo esses autores, para um determinado nível de nutrição nitrogenada é possível estabelecer valores para “a” e “b” correspondendo a uma curva específica de diluição. E para níveis “não limitantes” de N é possível determinar uma curva de diluição, sejam quais forem as condições experimentais.

A determinação do conteúdo ótimo de N em relação à biomassa aérea permite formular um diagnóstico do nível real ou adequado de N para determinada pastagem (Lemaire *et al.*, 1997). Desta forma, tem-se um instrumento eficaz de aferição da nutrição das plantas a nitrogênio. Este modelo permite verificar se as condições ambientais não são limitantes no que se refere à nutrição mineral e permite a separação dos efeitos devido as condições de solo (perdas e imobilização) daqueles devido às condições de crescimento da planta.

Segundo Greenwood *et al.* (1990), trabalhando com diferentes espécies, a % de N de todas culturas decresceu abruptamente com o incremento de MS, mas este declínio diferiu entre plantas do tipo C₃ e C₄, sendo que para o modelo o valor de “b” foi igual a -0,5 para ambos tipos, enquanto o de “a” foi 5,7% para espécies C₃ e 4,1% para espécies C₄. De acordo com esta relação o declínio fracional no teor de N com o incremento da biomassa aérea foi o mesmo para ambos os tipos de plantas, mas espécies C₄ continham em torno de 72% do N contido nas espécies C₃ para a mesma quantidade de MS. Na medida de em que aproximadamente 32% a mais de MS era produzido por unidade de radiação interceptada, tanto para C₄ como para C₃, o consumo de N por unidade de radiação interceptada foi aproximadamente o mesmo para ambos os tipos de plantas.

Entretanto, um pequeno melhoramento foi obtido no nível de ajuste do modelo na medida em que os autores permitiram que “a” e “b” variassem com a cultura. Desta forma, a relação entre N não limitante e conteúdo de N na planta tem sido determinado para diferentes pastagens e espécies, chegando-se à seguinte expressão, única para cada tipo de planta:

$$\text{Equação 12 } C_3 - N\% = 4,8 (W)^{-0,32}$$

e

$$\text{Equação 13 } C_4 - N\% = 3,6 (W)^{-0,34}$$

Segundo Greenwood *et al.* (1991) o valor de $a = 4,8$ e $b = 0,32$ podem ser considerados estáveis para todas as espécies C_3 , enquanto para as espécies C_4 o valor de "a" é significativamente inferior (3,6) e o valor de "b" (0,34) não difere significativamente das plantas C_3 .

A partir da equação da diluição do N é possível estimar o consumo de N (Nupt):

$$\text{Equação 14 } \text{Nupt}(\text{kg/ha}) = 10^a [\text{W}(\text{t/ha})]^{1-b}$$

Assim em condições não limitantes de N é possível relacionar a taxa de acúmulo de N na pastagem diretamente à taxa de produção de forragem (Lemaire & Chapman, 1996).

A utilização do modelo de diluição de N no tecido vegetal, proposto por Lemaire & Salette (1984), permitiram a Greco *et al.* (1995) proporem níveis de adubação nitrogenada para uma pastagem da Pampa Deprimida, Argentina, dominada no período hiberno-primaveril por azevém, *Bromus spp.*, e *Stipa spp.* Com o nível de 150 kg de N/ha foi possível obter o maior acúmulo de MS (4.193 kg/ha) e a maior taxa de crescimento de forragem (74,5 kg/ha/dia), a qual não diferiram ($P > 0,05$) dos valores obtidos para os níveis 200 e 250 kg/ha. Os parâmetros "a" e "b" obtidos para o modelo de diluição foram 3,8 e 0,53, respectivamente, muito próximos aos obtidos por Marino *et al.* (1996) em uma pastagem de azevém (cv. Grasslands Tama) onde foi observado um coeficiente de diluição ("b") de 0,51 e uma concentração de N para a primeira tonelada de MS acumulada de 4,16%. Os autores consideram que os valores obtidos são semelhantes aos descritos na literatura (Greenwood *et al.* 1991) para gramíneas forrageiras temperadas. Não foram encontrados trabalhos similares para aveia preta forrageira.

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido no período de março a outubro de 1999, em área do Centro de Estações experimentais do Canguiri, pertencente à Universidade Federal do Paraná - UFPR, localizada no município de Pinhais - PR, situada na região fisiográfica denominada Primeiro Planalto Paranaense, com coordenadas de 25° 25' de latitude Sul, 49° 08' de longitude Oeste e 930 m de altitude.

3.2 CARACTERÍSTICA DE SOLO E CLIMA

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Alumínico, com A proeminente, textura argilosa e relevo suave ondulado, caracteriza-se por possuir um horizonte B latossólico, profundo, poroso e bem drenado (EMBRAPA, 1984).

Antes do início do experimento foram retiradas amostras para a determinação das características químicas (Tabela 1). Com base nos resultados da análise foram feitas as correções necessárias.

Tabela 1 Característica químicas do solo antes de instalar o experimento.

Prof.	pH	CaCl ₂	C	Al ⁺³	H+Al	Ca	Mg	K	T	P	V
cm			g.dm ⁻³	-----cmol _(c) .dm ⁻³						mg.dm ⁻³	%
0-20	5,0		39,5	0,0	6,7	5,4	3,5	0,33	15,93	3,0	57,94

3.3 CLIMA

O clima segundo Köppen, é classificado como temperado do tipo Cfb (IAPAR, 1994). A temperatura média no mês mais frio é inferior a 18°C (mesotérmico). Os verões são amenos, com temperaturas médias do mês mais quente abaixo de 22°C,

não havendo estação seca definida, ocorrendo geadas freqüentes no inverno (em média 10 geadas noturnas por ano), com um total médio de 200 horas de frio, com temperaturas inferiores a 7°C no período de maio a agosto. A precipitação média anual varia de 1400 a 1500 mm, e nos meses mais secos (abril e maio) de 75 a 100 mm. A umidade relativa (média anual) é de 80 a 85 % e a insolação de 1800 horas por ano.

3.4 ESTABELECIMENTO

O experimento foi conduzido em uma área homogênea de 2500 m², onde os possíveis fatores de variação (nutrientes, fertilidade e disponibilidade de água), com exceção dos tratamentos com nitrogênio (N), foram controlados de forma que a cultura pudesse expressar o seu potencial produtivo.

A área experimental foi preparada de forma convencional, com uma aração e duas gradagens. A adubação potássica e fosfatada foi feita a lanço, antes da segunda gradagem, com base nos resultados de análise de solo, utilizando-se 300 kg de 00-30-20 por hectare (N-P₂O₅-K₂O), visando minimizar a possibilidade de que a disponibilidade destes nutrientes pudesse vir a limitar a produtividade da cultura.

A semeadura foi realizada em 19 de abril de 1999 com sementes básicas de aveia preta (*Avena strigosa* Lam.), cultivar IAPAR 61 na densidade de semeadura de 60 kg/ha, em linhas espaçadas de 17 cm. A emergência das plantas ocorreu em 26 de abril. Os dados de temperaturas correspondentes ao período experimental são apresentados no Anexo 1.

3.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Utilizou-se um delineamento em blocos ao acaso, com 5 doses de nitrogênio (0, 75, 150, 225 e 300 kg de N/ha), 4 períodos de crescimento e 6 repetições. Um total de 120 parcelas de 2 x 3 m (parcela útil de 1 x 2m) e uma área total de aproximadamente 2500 m² foram instaladas visando possibilitar que todas as avaliações previstas fossem efetuadas. Em posição central, foi deixado um corredor para passagem do sistema de irrigação (barra de irrigação autopropelida) e onde foi

também instalado o sistema automático de aquisição de dados Campbell modelo CR – 10 (Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA), ao qual foram conectados os sensores adiante descritos (Figura 7).

A fonte de nitrogênio foi a uréia (45% de N), parcelada em três aplicações, sendo a primeira realizada no dia 13/05/99, quando foi aplicado 1/3 da dose preconizada e a segunda e terceira aplicações realizadas nos dias 19/06/99 e 15/07/99, após os cortes de uniformização. Estas foram feitas manualmente a lanço, seguidas de irrigação. A aplicação parcelada de nitrogênio visou diminuir às perdas deste nutriente por volatilização e lixiviação, bem como dar melhores condições para que a cultura pudesse expressar seu potencial de crescimento durante os períodos de rebrote (Corsi & Nascimento Júnior, 1994).



Figura 7 – Imagens do experimento de campo em diferentes etapas.

3.6 PRÁTICAS CULTURAIS

Para assegurar condições favoráveis de crescimento, a área foi irrigada quando constatada deficiência hídrica. O monitoramento da condição hídrica na área experimental foi feito com tensiômetros instalados a 20 e 40 cm de profundidade no solo. No momento em que foram observados valores entre 0,05 e 0,06 MPa de tensão de umidade do solo (valores à partir dos quais inicia-se a diminuição do desenvolvimento vegetal neste tipo de solo - Lustosa, 1999 - informação pessoal), foi realizado o fornecimento de uma lâmina de água suficiente para baixar este valor para 0,01 MPa.

Não foram observadas incidências significativas de pragas e/ou doenças em níveis que justificassem o controle fitossanitário. A supressão de plantas daninhas foi realizada manualmente, retirando-se as plantas ainda jovens e sempre que necessário.

3.7 DETERMINAÇÕES

3.7.1 Produção de forragem

A produção de forragem foi avaliada aos 54 (1º crescimento, 1º corte ou acúmulo 1), 80 (2º crescimento, acúmulo 2 ou 1º rebrota), 101 (3º crescimento, acúmulo 3 ou 2º rebrota) e 177 dias (4º crescimento, acúmulo 4 ou fase reprodutiva) após a emergência das plantas e referem-se aos totais acumulados, descontando-se os resíduos, que sobraram no campo após os cortes de uniformização (exceto para o primeiro corte). Ou seja, após a avaliação do total de matéria seca disponível, por corte e rente ao solo, foi realizado um corte de uniformização em todo o experimento, após o qual foi realizada uma avaliação da matéria seca remanescente, que foi descontada do total acumulado até o corte subsequente.

Durante a fase vegetativa da planta, os cortes de uniformização foram efetuados de acordo com as recomendações da Comissão Sul – Brasileira de Pesquisa de Aveia, (Antoniuzzi & Perim, 2001; Matzenbacher, 2001; Pegoraro *et al.*, 2001), observadas em relação aos tratamentos com melhor desenvolvimento e a

uma altura variando entre 7 e 10 cm de altura, na qual procurava-se respeitar a altura do meristema do afilho principal. No momento do terceiro corte, a maioria das plantas encontravam-se em início de fase reprodutiva das plantas e portanto, se considerou o experimento encerrado para a finalidade proposta de avaliação da morfogênese e de validação do modelo de produção de matéria seca. Neste momento decidiu-se pela realização do corte de uniformização a 7 cm de altura e de uma última avaliação de matéria seca, procurando-se avaliar um possível efeito residual das doses de nitrogênio aplicadas na rebrota e produção de matéria seca durante a fase reprodutiva das plantas.

3.7.2 Parâmetros de crescimento

Semanalmente foram feitas avaliações de peso da matéria seca da parte aérea, relação lâmina foliar/colmo^{*} (LF:C) e índice da área foliar (IAF) e duas vezes por semana foram realizadas as medições de folhas e a contagem de perfilhos em plantas marcadas. Estes dados foram posteriormente utilizados no cálculo e na interpretação da morfogênese das plantas, conforme adiante descrito.

3.7.2.1 Amostragem da parte aérea

Foram retiradas amostras semanais numa área de 0,5 m² (1,0 x 0,5 m), sendo os cortes realizados dentro da parcela útil de cada unidade experimental ao nível do solo, para a estimativa da produção de MS. Nesta área também estavam localizados os pontos para leitura de radiação. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos identificados, sendo posteriormente transferidas para o laboratório, sendo secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até peso constante. Após a pesagem das amostras secas em balança de precisão de 0,1 grama para a estimativa do rendimento de MS, estas foram enviadas para análise do teor de N (% N).

* O colmo considerado neste trabalho representa o pseudo-colmo que corresponde ao conjunto do colmo com a bainha das folhas.

Uma outra amostra foi retirada para a estimativa da relação lâmina foliar : colmo e para a determinação da área foliar. Logo após o corte da aveia, o material foi resfriado, para evitar perdas por respiração e levado ao laboratório, onde foram destacadas do colmo as folhas verdes e sadias ao acaso. Estas foram estendidas em suporte apropriado e passadas no planímetro ótico para a determinação da área foliar em cm². Procurou-se utilizar uma amostra em torno de 200cm². Após a determinação da área estas folhas foram colocadas em sacos de papel, identificadas e levadas a estufa a 65 °C até peso constante.

A área obtida foi então relacionada com o peso seco das folhas medidas (após secagem em estufa até peso constante) para a determinação do seu peso específico, por meio da equação:

$$\text{Equação 15 } \rho = mf/Af$$

onde ρ é o peso específico de folhas, mf a massa das folhas secas em g e Af a área foliar em cm² obtida no planímetro.

A partir dos valores obtidos em cada amostragem, para acúmulo de MS em g/m², porcentagem de folhas verdes (obtida da relação folha/caule) e de ρ em g/m² foi calculado o IAF pela seguinte fórmula:

$$\text{Equação 16 } \text{IAF} = (\text{MS} * \% \text{ folhas verdes}) / \rho * 100$$

3.7.2.2 Determinação das características morfogênicas e estruturais

Para a determinação da dinâmica de crescimento foram marcados, no início do experimento, 10 plantas individuais, escolhidas ao acaso, dentro da parcela útil, por repetição de cada tratamento, com um fio telefônico colorido, fixado ao solo com um prego. O período avaliado compreendeu desde o aparecimento da primeira folha até o terceiro corte de uniformização (2° rebrota), no qual as plantas estavam iniciando a fase reprodutiva (emborrachamento / pré – emissão das panículas).

A cada três e quatro dias (quartas-feiras e sábados) foram realizadas as medições de folhas e contagem do número de perfilhos, as quais possibilitaram a posterior determinação das taxas de aparecimento de folhas e perfilhos, taxa de senescência, crescimento de folhas e taxa de desaparecimento de folhas e perfilhos, a seguir descritos.

3.7.2.2.1 Taxa de alongação foliar - TEF (mm/folha/GD)

A taxa de alongação foliar foi estimada a partir das folhas em crescimento no afilho principal das plantas marcadas. A TEF corresponde a diferença do comprimento médio das folhas em crescimento entre duas medidas consecutivas e dividido pelo acúmulo térmico ($^{\circ}\text{GD}$) do período.

3.7.2.2.2. Comprimento foliar – CF (cm)

O comprimento foliar refere-se a somatória dos comprimentos de todas as folhas verdes dos perfilhos avaliados em centímetros.

3.7.2.2.3 Taxa de alongação foliar total- TEFT (mm/GD)

A taxa de alongação foliar total foi estimada a partir das folhas em crescimento no afilho principal das plantas marcadas. A TEFT corresponde a diferença do comprimento das folhas em crescimento entre duas medidas consecutivas e dividido pelo acúmulo térmico ($^{\circ}\text{GD}$) compreendido no intervalo.

3.7.2.2.4. Taxa de aparecimento de folhas - Filocrono (GD)

As medições foliares efetuadas duas vezes por semana durante todo o período de crescimento permitiram relacionar o número de folhas completamente expandidas com o tempo (no caso presente, com o tempo térmico, expresso em graus-dia). A taxa de aparecimento de folhas (Filocrono) foi calculada como sendo o

inverso do coeficiente angular da regressão entre o número de folhas totalmente expandidas e o acúmulo de graus-dia.

3.7.2.2.5. Taxa de senescência foliar - TSF (mm/ GD)

Foi estimada com base na população de folhas em senescência no intervalo de tempo entre as duas medidas consecutivas e corresponde a diferença média do comprimento das folhas em senescência entre duas datas, dividido pelo número de dias compreendido no intervalo.

3.7.2.2.6. Duração de vida da folha

Foi calculada como o produto entre o intervalo de aparecimento de folhas (filocrono) e o número de folhas vivas por perfilho.

3.7.2.2.7. Número de perfilhos por planta

Obtido pela contagem direta do número de perfilhos nas plantas marcadas nos dias de avaliação.

3.8 OBSERVAÇÕES METEOROLÓGICAS

3.8.1. Observações da estação meteorológica

Na Estação Meteorológica da Fazenda Experimental do Canguiri, localizada a aproximadamente 200 m da área experimental foram coletadas:

- a. Temperatura média diária do ar $(t_{\min} + t_{\max})/2$ obtidas a partir de diagramas de termógrafo em abrigo meteorológico;
- b. Radiação solar global diária obtida por meio de diagramas de piranômetro.

Os dados de temperaturas mínimas e máximas diárias foram utilizadas para o cálculo de graus-dia (GD). A temperatura de base (T_b) utilizada foi de 0°C (Sonego

et. al., 1999). Como as temperaturas observadas estavam acima da temperatura de base, (T_b), utilizou-se a equação simplificada:

Equação 17 $GD = (T_{max} + T_{min})/2$ (Ometto, 1981)

Utilizada para cálculo do acúmulo térmico diário, fazendo-se posteriormente as totalizações para os diferentes períodos de análise.

3.8.2. Balanço da radiação

Próximo ao datalogger, acima das plantas, nivelado e orientado para o norte foi instalado um quantômetro (LI-COR, Lincoln, Nebraska, EUA), para medida direta da radiação fotossintética incidente (PARinc). Em três repetições de cada tratamento foram medidas:

- a. Radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo solo e cultura (PARsc) medida a aproximadamente 1 metro acima da comunidade vegetal, com os sensores nivelados e voltados para a cultura.
- b. Radiação fotossinteticamente ativa transmitida (PART) determinada ao nível do solo, transversalmente às fileiras de plantas e com os sensores voltados para cima.

Os sensores de radiação foram feitos com células de silício amorfo (SLAM) e foram posteriormente calibrados em relação ao quantômetro, citado anteriormente. A montagem das células foi descrita em detalhes por Pandolfo *et al.* (1993). A transformação dos dados elétricos gerados pelas células de silício amorfo através das equações de calibração, permitiu a obtenção de estimativas da radiação fotossinteticamente ativa na mesma unidade do quantômetro (Viégas, 1998). Utilizou-se conjuntos com seis células montadas em série sobre uma barra rígida de alumínio e espaçadas de 25,5 cm entre si, de modo a ter-se alternadamente uma célula na linha da cultura e uma célula na entrelinha. As determinações micrometeorológicas foram coletadas e processadas em um datalogger modelo

CAMPBELL CR-10, obtendo-se a média das informações obtidas a cada 30 segundos e integradas no intervalo de quinze minutos, as quais foram posteriormente transferidas diretamente para um computador. As barras de coleta de dados de radiação refletida e transmitida nos diferentes tratamentos eram semanalmente re-locadas no mesmo dia e nos mesmos locais da coleta das amostras para avaliação de crescimento, sendo as observações iniciadas logo após o estabelecimento dos tratamentos.

Estas medições foram feitas em 3 repetições, sendo as barras alocadas dentro das parcelas em áreas homogêneas e procurando representar o melhor possível a situação de cobertura média do cultivo nos diferentes tratamentos.

3.9 – MODELO DE DILUIÇÃO DE NITROGÊNIO

Amostras de matéria seca da biomassa aérea foram enviadas ao Laboratório de Nutrição Animal do Instituto Agrônomo do Paraná de Londrina - PR onde foram moídas e posteriormente analisadas quanto ao teor de N (% N) total pelo método semi-micro Kjeldahl, o qual encontra-se descrito por TEDESCO *et al.* (1985).

Os valores encontrados foram plotados em um gráfico e comparados com o modelo de diluição de nitrogênio proposto por Greenwood *et al.* (1986) para gramíneas de ciclo C₃, o qual indica se o nível nutricional durante o desenvolvimento das plantas possibilitou o máximo acúmulo de biomassa (Lemaire & Culleton, 1989).

De acordo com os resultados encontrados, observou-se que o ajuste deste modelo não era satisfatório para o período de rebrota, optando-se, portanto, por estimar os coeficientes "a" e "b" do modelo: $N\% = a (W)^{-b}$ (equação 11) para o 1º crescimento e para os rebrotes separadamente. Apesar de Greenwood *et al.* (1991) considerar que o modelo de diluição de nitrogênio é estável e aplicável para todas as espécies C₃, neste trabalho justifica-se estabelecer valores para "a" e "b" correspondendo a uma curva específica de diluição para os períodos considerados, devido ao elevado resíduo observado no campo após os cortes de uniformização.

3.10 BALANÇO DE RADIAÇÃO E MODELO DE ACÚMULO DE MATÉRIA SECA EM FUNÇÃO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (PAR) ABSORVIDA (EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO – EA)

A obtenção dos parâmetros dos modelos foi efetuada combinando-se análises de regressão efetuadas no programa estatístico Statistica e cálculos na planilha Excel (Microsoft Excel, 2000), sendo que nesta última montou-se um programa com base nas estimativas efetuadas tanto neste trabalho, quanto no realizado por Viégas (1998) para azevém.

A radiação global (Rs) medida na Estação Meteorológica da Fazenda Experimental do Canguiri, por meio de um piranômetro LI-COR e a PAR_i (radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre a cultura) foi medida por um quantômetro,

A radiação fotossinteticamente absorvida (PAR_a) foi estimada conforme a metodologia proposta por Gallagher & Biscoe (1978), a qual foi validada por Viégas (1998) em que:

$$\text{Equação 18} \quad \mathbf{PAR_a = PAR_i - PAR_t - PAR_r}$$

Com base nesta metodologia, e utilizando-se para cálculo dias com ausência de nuvens (Viégas, 1998), calculou-se a eficiência de absorção da radiação (E_a) e o coeficiente de extinção de luz (K), por meio das equações abaixo:

$$\text{Equação 19} \quad \mathbf{E_a = PAR_a/PAR_i} \quad (\text{Varlet-Grancher } et \text{ al., 1989})$$

$$\text{Equação 20} \quad \mathbf{K = (LnPAR_i - LnPAR_t)/IAF} \quad (\text{adaptado de Monsi e Saeki, 1953})$$

Neste trabalho, optou-se pelo cálculo do K, utilizando-se as radiações acumuladas diariamente, tanto acima da vegetação (PAR_i), quanto ao nível do solo (PAR_t), ao invés da radiação medida apenas às 12:00 conforme metodologia proposta inicialmente pelos autores acima. A evolução do IAF em função do acúmulo de graus- dia (GD) foi estimada para o tratamento de 225 kg de nitrogênio /

ha, dose acima da qual, segundo o modelo de Lemaire *et al.* (1997), este nutriente passava a não limitar a produtividade.

Com a obtenção dos valores de k e do sub-modelo de evolução do IAF, foi possível obter a E_a modelada e a quantidade de radiação absorvida pela cultura, com a qual se modelou o acúmulo de matéria seca, tanto para a fase de estabelecimento, quanto de rebrota. Para a rebrota, validou-se também o efeito do resíduo observado após o corte de uniformização, conforme resultados observados por Viégas (1998).

Os sub modelos utilizados e o modelo de produção de MS em função da radiação foram integrados em uma planilha do Microsoft Excel (2000).

3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados de MS, IAF, LF:C e % N observados no campo nas avaliações de produção de forragem foram submetidos à análise de variância e de resíduos utilizando o programa estatístico SAS (1988). A homogeneidade de variância foi avaliada pelo Teste de Bartlett, sendo as variáveis que se mostraram homogêneas avaliadas pelo Teste F e posteriormente submetidas a um teste de comparação de médias (Tukey a 5% de probabilidade).

Os dados coletados semanalmente para avaliação de parâmetros de crescimento foram analisados para cada período. Optou-se por uma análise de regressão múltipla para as características de crescimento avaliadas diretamente no campo (Matéria seca - MS, índice de área foliar - IAF, perfilhamento - perf, comprimento foliar total - CFT, relação lâmina foliar caule - LF:C) e também para o teor de nitrogênio encontrado nas folhas (% de N). A pertinência dos modelos em explicar os resultados obtidos foi aferida pela significância e pelo coeficiente de determinação (STATÍSTICA, 1995). Para taxas e/ou variáveis sintéticas, tais como taxa de alongação foliar - (TEF - mm/folha/GD), a taxa de alongação foliar total (TEFT - mm/GD), a taxa de aparecimento de folhas - (Filocrono - GD), a taxa de senescência foliar - TSF (mm/GD) e a duração de vida da folha (DVF - GD) optou-se pela análise de variância (anova) e teste de comparação de médias - Tukey a 5% de probabilidade.

Nos modelos de diluição de nitrogênio e de acúmulo de matéria seca foram realizadas análises de regressão para as diversas variáveis. A pertinência dos modelos em explicar os resultados obtidos foi aferida pela significância e pelos coeficientes de determinação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUÇÃO DE FORRAGEM

A produção de forragem de aveia nos diferentes crescimentos encontra-se na Tabela 2. Foram observados pela análise de variância, efeitos significativos para doses de nitrogênio, épocas de corte e interação entre estas, com um coeficiente de variação de 6,93 % para produção de matéria seca. A produção total de biomassa aérea variou de 3422,6 até 9953,6 kg de matéria seca por hectare, com grande resposta da cultura à adubação nitrogenada. Na fase vegetativa (cortes 1, 2 e 3), não foram observadas diferenças significativas entre as três maiores doses utilizadas, sendo que a maior produtividade foi obtida na dose de 225 kg de nitrogênio por hectare. No primeiro corte observou-se diferença significativa entre a dose de 150 kg de N/ha e as maiores doses utilizadas (225 e 300 kg de N/ha), fato não observado nos segundo e terceiro cortes e no total de matéria seca produzida durante a fase vegetativa. A dose de 300 kg de N destaca-se das demais na fase reprodutiva (corte 4) da cultura, acumulando significativamente mais matéria seca do que os outros tratamentos. A testemunha sem nitrogênio (dose 0) produziu significativamente menos que as demais doses em todos os cortes, tanto durante a fase vegetativa quanto reprodutiva, mostrando que a deficiência de nitrogênio neste experimento limitou consideravelmente a produção de matéria seca. Efeitos significativos da fertilização nitrogenada em gramíneas forrageiras anuais de inverno foram encontrados por diversos autores (Viégas, 1998; Gonçalves, 1979; Lemaire & Culleton, 1989). Estes resultados concordam com a afirmação de Whitehead (1995) de que, apesar de sua abundância na natureza, o nitrogênio é freqüentemente um dos fatores mais limitantes na produção das pastagens constituídas por gramíneas. É evidente a influência das adubações nitrogenadas no crescimento e em diversos aspectos morfogênicos e fisiológicos das gramíneas. George *et al.*, 1973 observou que em pastagens formadas por gramíneas, ocorre freqüentemente um aumento quase linear na produção de forragem, enquanto que Lupatini *et al.* (1998), observou em um trabalho com níveis de adubação nitrogenada em aveia preta e azevém sob pastejo, que a resposta aumenta até que a máxima produção seja atingida, sendo que a partir deste ponto, o incremento de produção em resposta ao nitrogênio excedente adicionado é nulo.

Tabela 2. Produção de matéria seca da parte aérea (kg.ha⁻¹) de aveia preta cultivar IAPAR 61 em quatro cortes, sendo três durante a fase vegetativa da cultura (1, 2 e 3) e um na fase de enchimento de grãos.

Cortes	Tratamentos (kg / nitrogênio / ha)				
	0	75	150	225	300
1	966 ^{A d}	2466 ^{A c}	2861 ^{A b}	3597 ^{A a}	3303 ^{A a*}
2	1003 ^{A c}	1641 ^{B b}	2049 ^{B a}	2126 ^{B a}	1858 ^{B ab}
3	904 ^{AB b}	1488 ^{B a}	1582 ^{C a}	1547 ^{C a}	1446 ^{C a}
Acumulado da fase vegetativa	2873	5595	6492	7270	6607
4	549 ^{B d}	1507 ^{B c}	1758 ^{BC bc}	1984 ^{B b}	3346 ^{A a}
Total	3422	7102	8250	9254	9953

*Teste de Tukey a 5% de probabilidade Maiúscula entre cortes (coluna) e minúsculas entre doses de N (linha).

As produções médias de matéria seca variaram de 17,9 a 81,8 kg / hectare / dia (Tabela 3). Observa-se que na fase vegetativa, as menores produções médias diárias foram obtidas no período de estabelecimento do cultivo, devido, provavelmente, à necessidade da planta formar o aparato fotossintético nesta fase a partir do “zero” e ainda ter que alocar carbono na formação do sistema radicular (Parsons & Robson, 1980). A máxima taxa de acúmulo de matéria seca/ha/dia foi observada no período compreendido entre o primeiro e o segundo corte para a dose de 225 kg de nitrogênio por hectare. A partir do terceiro corte, considerou-se que as plantas já haviam iniciado o estágio reprodutivo. A partir deste corte, o qual foi realizado a 5 cm do solo, eliminando-se portanto os meristemas apicais dos afilhos principais, suspenderam-se as avaliações semanais. No quarto e último corte, realizado 177 dias após a emergência, foi avaliada apenas a produção de matéria seca (Tabelas 2), na qual destaca-se o tratamento de 300 kg de N/ha, que diferiu significativamente de todos os demais. Este resultado, associado ao observado na Tabela 3, onde observa-se valores médios superiores a 40 kg de MS / ha / dia para este tratamento e neste período, demonstra ser a disponibilidade de nitrogênio, aparentemente, muito importante para a recuperação das plantas neste estágio e mesmo para a formação de grãos. Sinclair (1998) relata que maiores acúmulos de nitrogênio são essenciais para a obtenção de altas produções de grãos, podendo inclusive modificar decisivamente o índice de colheita.

Tabela 3. Produções médias diárias, em kg de matéria seca da parte aérea de aveia preta por hectare da cultivar IAPAR 61, em quatro cortes, sendo três durante a fase vegetativa da cultura (1, 2 e 3) e um na fase de enchimento de grãos.

Cortes	Tratamentos (kg/nitrogênio/ha)				
	0	75	150	225	300
1	17,9 ^{B d}	45,7 ^{B c}	53,0 ^{B b}	66,6 ^{B a}	61,2 ^{A a*}
2	38,6 ^{A c}	63,1 ^{A b}	78,8 ^{A a}	81,8 ^{A a}	71,5 ^{A ab}
3	43,1 ^{A b}	70,9 ^{A a}	75,3 ^{A a}	73,7 ^{AB a}	68,9 ^{A a}
Média ponderada da fase vegetativa	28,4	55,4	64,3	72,0	65,4
4	7,2 ^{B d}	19,8 ^{C c}	23,1 ^{C bc}	26,1 ^{C b}	44,0 ^{B a}
Média geral	19,3	40,1	46,6	52,3	56,2

*Teste de Tukey a 5% de probabilidade Maiúscula entre cortes (coluna) e minúsculas entre doses de N (linha).

4.2 – PARÂMETROS DE CRESCIMENTO E TEORES FOLIARES DE NITROGÊNIO DURANTE A FASE VEGETATIVA DAS PLANTAS.

Os resultados dos parâmetros de crescimento e dos teores foliares de nitrogênio foram analisados para cada período, ou seja, da emergência das plantas até o primeiro corte (1º crescimento ou acúmulo 1), deste corte até o segundo corte (2º crescimento, acúmulo 2 ou 1º rebrota), e deste até o terceiro e último corte durante a fase vegetativa (3º crescimento, acúmulo 3 ou 2º rebrota). A análise conjunta dos parâmetros de crescimento e de sua possível relação com os teores foliares de nitrogênio para cada corte visou buscar um melhor entendimento das inter-relações entre o nutriente e os parâmetros de crescimento avaliados e tendo em conta que os efeitos para dose, época de corte e para a interação entre ambas, foram significativos. Os resultados das análises de regressão múltipla para peso da Matéria Seca (MS), Índice de Área Foliar (IAF), Perfilhamento (PERF), Comprimento Foliar Total (CFT), Relação Lâmina Foliar : Caule (LF:C) e Teor de Nitrogênio encontrado nas folhas (% de N) encontram-se nas Tabelas 4 e 5. Na Tabela 4 são apresentados os coeficientes de regressão e as análises de variância (ANOVA) elaboradas com base nos resultados observados e na Tabela 5 são apresentadas as contribuições das variáveis para explicar os modelos matemáticos. De acordo com a ANOVA (Tabela 4), os modelos para o primeiro acúmulo apresentaram coeficiente de determinação (R^2) acima de 84% e ajuste

significativo ao nível de 1% de probabilidade. Os coeficientes de variação foram de 16,94; 20,68; 8,94; 8,77; 10,75 e 3,65 para, respectivamente, MS/ha, IAF, perfilhamento, comprimento foliar, relação lâmina foliar:colmo e % de nitrogênio. Os efeitos lineares influenciaram significativamente as respostas (de 79,5 a 93,5%) para todas estas características, sendo o efeito “dose de nitrogênio (X_1)”, o de maior contribuição para as respostas observadas.

Tabela 4. Coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA) dos modelos^a matemáticos das variáveis resposta.

Corte	Coeficientes		MS/ha ^a	IAF	PERF	CFT	LF:C	%N
1	Linear	β_0	1100.98	3.2509	-4.508	-39.52	3.32	8.8659
1		β_1	-5.735	-0.0165	0.0282	0.35248	0.00322	-0.01842
1	Quadrático	β_2	-6.3102	-0.0205	0.0001	-0.0431	0.00107	0.004239
1		β_{11}	0.0100	0.00002	-0.00003	-0.0002	-0.000007	0.000011
1		β_{22}	0.0283	0.00002	-0.00001	-0.0003	0.000006	0.000009
1	Interação	β_{12}	-0.0104	0.00008	0.00002	0.00044	-0.000009	0.000006
1	R^2		0.9556	0.9410	0.9512	0.9480	0.8413	0.9694
1	Signif. Do modelo (P)		**	**	**	**	**	**
1	Coef. de variação		16.94	20.68	8.94	8.77	10.75	3.658
2	Linear	β_0	-502.74	-4.3778	8.4864	-7.6830	-1.2937	-20.8054
2		β_1	-1.2005	0.0112	-0.01014	0.01558	0.008442	0.06183
2	Quadrático	β_2	-0.8545	-0.0117	-0.03720	-0.3246	-0.000006	0.001199
2		β_{11}	0.0041	-0.00004	0.000004	0.00003	0.000015	-0.00004
2		β_{22}	0.0157	0.000025	0.000057	-0.0002	0.000006	-0.000015
2	Interação	β_{12}	0.0114	0.000032	0.000049	0.00055	0.000015	0.0000093
2	R^2		0.9410	0.8995	0.7343	0.9377	0.7432	0.8308
2	Signif. do modelo (P)		**	**	**	**	**	**
2	Coef. De variação		13.22	16.75	18.70	7.10	15.65	10.74
3	Linear	β_0	11417.0	240.61	1.06879	-981.05	106.61	-1.1846
3		β_1	-25.3774	-0.49761	-0.00029	1.8562	-0.223643	0.00518
3	Quadrático	β_2	1.9221	-0.04980	0.036218	-0.0320	0.011324	0.010301
3		β_{11}	0.1494	-0.00025	0.000003	-0.0008	0.000117	-0.000022
3		β_{22}	-0.01606	0.000061	-0.00002	-0.0002	-0.000010	-0.0000117
3	Interação	β_{12}	0.0062	-0.000017	-0.00002	0.00011	-0.000010	-0.0000039
3	R^2		0.8706	0.9612	0.9424	0.8417	0.9013	0.9061
3	Signif. do modelo (P)		**	**	**	**	**	**
3	Coef. De variação		17.85	20.44	9.04	6.75	34.54	9.15

$$^a Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + e$$

Tabela 5. Contribuição das variáveis para explicar o modelo matemático.

Acúmulo	Coefficientes		MS/ha	IAF	PERF	CFT	LF:C	%N
1	Linear	X_1^b	0.6750	0.6509	0.6406	0.8225	0.7469	0.6373
1		X_2^c	0.1637	0.1709	0.1478	0.0639	0.0484	0.2979
1	Quadrático		0.0192	0.0143	0.117	0.0209	0.0216	0.0271
1		Interação	0.0977	0.1048	0.0458	0.0407	0.0245	0.0071
2	Linear	X_1	0.6901	0.5561	0.2523	0.6550	0.0539	0.1265
2		X_2	0.1891	0.2359	0.5649	0.1450	0.1639	0.3951
2	Quadrático		0.0392	0.0374	0.0357	0.0345	0.0992	0.0288
2		Interação	0.0226	0.0701	0.1051	0.1032	0.4262	0.0210
3	Linear	X_1	0.5678	0.6590	0.0158	0.4956	0.6102	0.0034
3		X_2	0.2384	0.0622	0.8587	0.1037	0.0198	0.8684
3	Quadrático		0.0568	0.2057	0.0730	0.2323	0.2660	0.0337
3		Interação	0.0077	0.0343	0.0004	0.0101	0.0053	0.0006

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + e; \quad ^b \text{Dose}; \quad ^c \text{Graus-dia}$$

4.2.1 1º período de avaliação (1º crescimento, 1º acúmulo / corte ou estabelecimento)

O diagrama de superfície de resposta apresentado na Figura 8, elaborado com base no modelo de regressão, demonstra a evolução do acúmulo de matéria seca da aveia em relação ao aumento das doses de nitrogênio e de graus-dia até o primeiro corte. Foi observada uma grande resposta no acúmulo de matéria seca às doses de N utilizadas, sendo menor no início do desenvolvimento das plantas e intensificando-se com o acúmulo de graus-dia, observando-se nas duas maiores doses uma tendência de incremento do efeito quadrático, o que provavelmente ocorreria em caso de atraso no corte da forragem acumulada. Este efeito exponencial foi provavelmente devido tanto ao incremento na área foliar (Figura 9) proporcionado pelas doses de nitrogênio, quanto a própria disponibilidade deste nutriente para a formação de compostos nitrogenados (Figura 14), com conseqüente aumento na fixação de carbono. Agren (1985) cita que freqüentemente são encontradas respostas em crescimento a fertilizações nitrogenadas em gramíneas.

O incremento do IAF deveu-se tanto ao aumento do perfilhamento (Figura 10), quanto do comprimento foliar (Figura 11). Apesar do significativo aumento da área foliar e comprimento das folhas com as doses de nitrogênio, foi observada uma tendência de diminuição da relação lâmina foliar:colmo com os aumentos da dose de nitrogênio, motivados, provavelmente, pelo significativo incremento observado no peso dos pseudo-colmos (colmos + bainhas) e por uma possível antecipação da elevação do

meristema apical nestes tratamentos, fato também observado por Viégas (1998), em azevém.

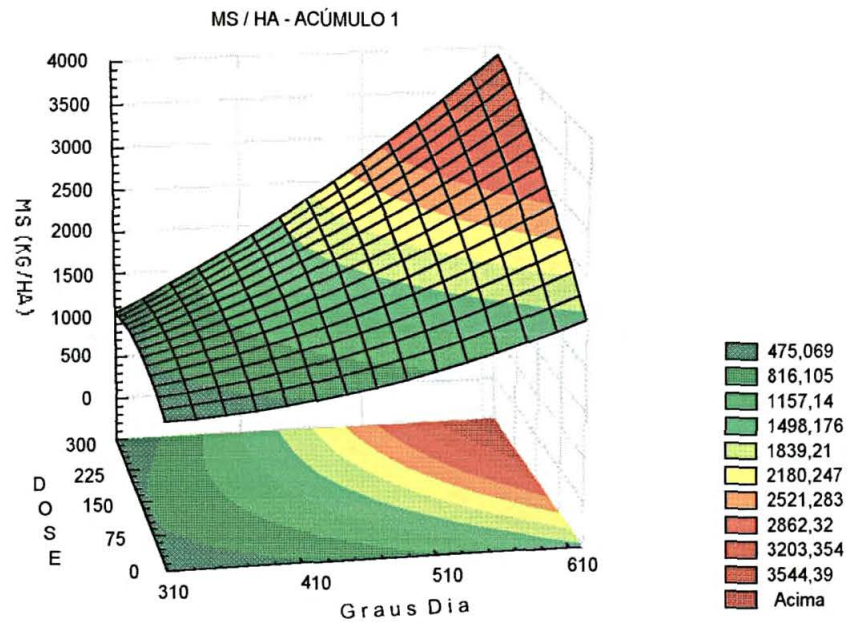


Figura 8. Evolução do acúmulo de matéria seca da parte aérea da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – 1º crescimento.

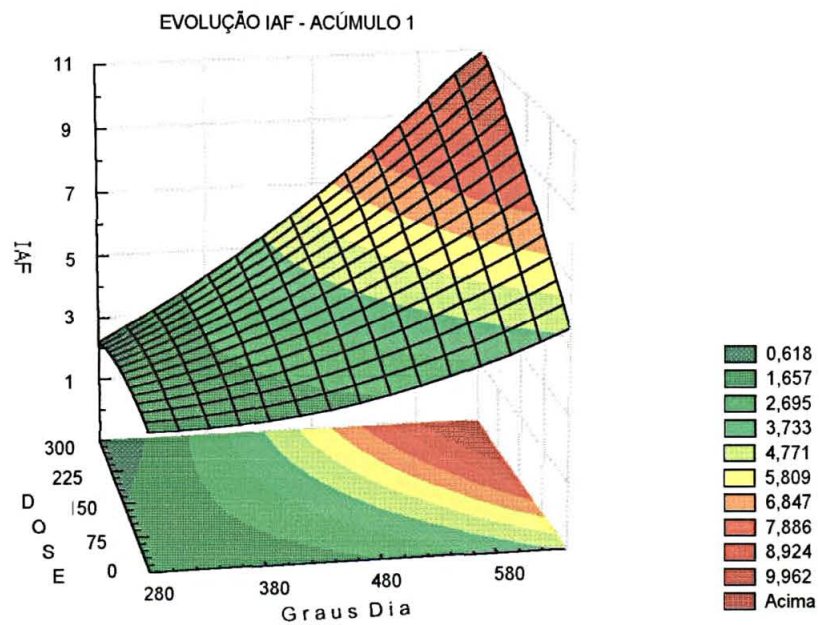


Figura 9. Evolução do índice de área foliar da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 1.

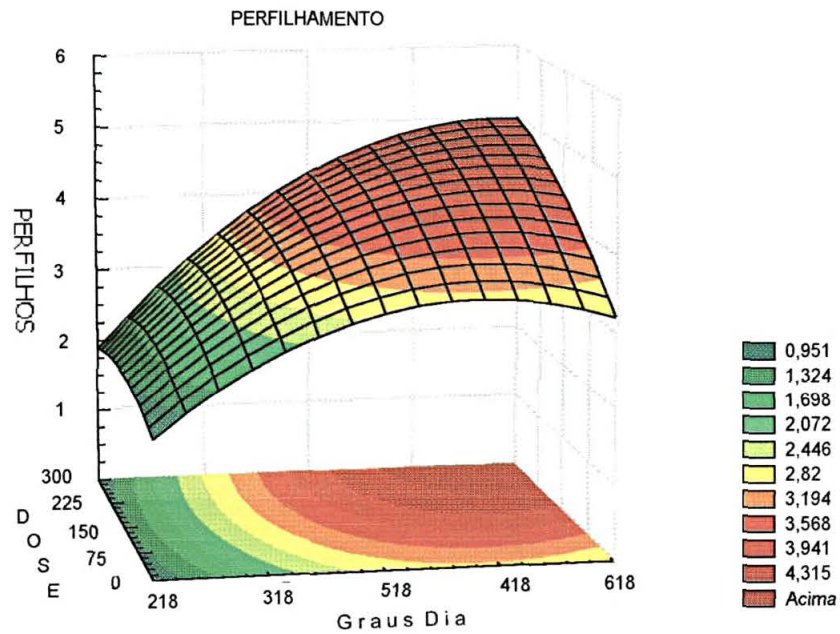


Figura 10. Evolução do número de perfilhos por planta da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 1.

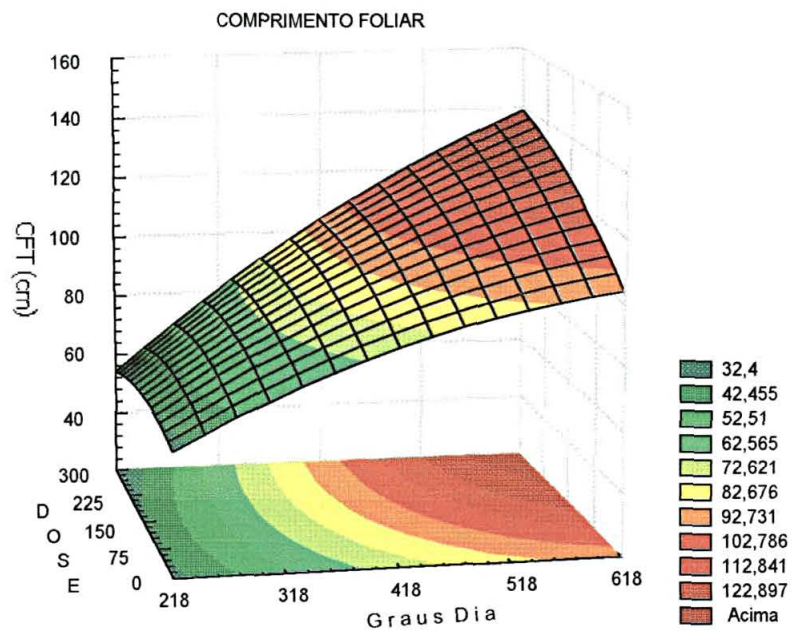


Figura 11. Evolução do comprimento foliar da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 1.

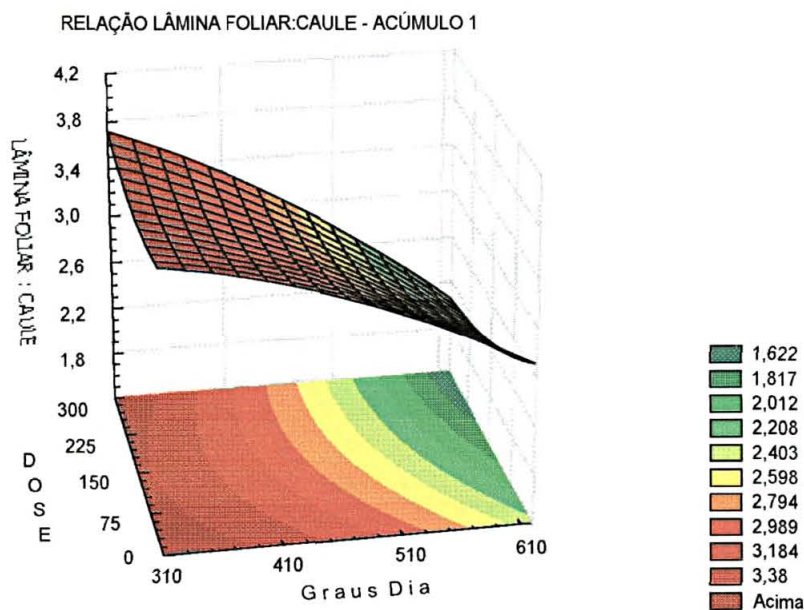


Figura 12. Relação lâmina foliar:colmo da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 1.

Outro aspecto interessante a ser analisado é a forma que a superfície de resposta, para as diferentes características, assume no espaço. Observa-se que as Figuras 8 e 9 (MS/ha e IAF) assumem formas muito parecidas e concorda com a afirmação de Gastal, *et al.*, (1992) que ressalta que o efeito positivo do N no acúmulo de biomassa aérea pode ser explicado, principalmente, por uma maior interceptação de luz. Observa-se nas figuras 8 e 9 apenas uma diferença aparente nas duas maiores doses de nitrogênio e com mais de 600 graus- dia acumulados, em que para MS/ha nota-se uma diminuição das taxas de acúmulo, não acompanhada de forma imediata pelo IAF. Este fato, talvez possa ser explicado por uma desaceleração da emissão de perfilhos pela planta (Figura 10), o qual contribui significativamente para a quantidade de matéria seca das plantas, e principalmente por uma menor relação lâmina foliar:colmo (Figura 12).

A diminuição da emissão de novos perfilhos com o aumento do IAF foi observada por diversos autores (Simon & Lemaire, 1987; Frank & Hofman, 1994) e é explicada pela não ativação das gemas devido à baixa qualidade da luz, ou seja pela relação vermelho/vermelho distante (Davies & Thomas, 1983). Na Figura 10, observa-se que inicialmente (até aproximadamente 300 graus-dia), não haviam grandes

diferenças no número de perfilhos por planta dos diferentes tratamentos, às quais se acentuaram posteriormente, o que concorda com Lemaire (1988), que ressalta que deficiências de nitrogênio diminuem o perfilhamento.

A menor relação lâmina foliar:colmo encontrada nas maiores doses de N, com mais de 600 graus-dias acumulados e com IAF superior a 10, indica, provavelmente, uma mudança das prioridades de alocação de carbono pela planta, e o início da elevação do meristema apical nestes tratamentos e de forma antecipada em relação aos demais (Viégas,1998). Zimmer *et al.* (1988), citam que a percentagem de folhas está relacionada com o peso e idade dos perfilhos. Perfilhos mais velhos e/ou desenvolvidos possuem menor percentagem de folhas.

A taxa de alongação foliar – (TEF - mm/folha/GD), a taxa de alongação foliar total (TEFT - mm/GD), a taxa de aparecimento de folhas – (Filocrono - GD), a taxa de senescência foliar - TSF (mm/ GD) e a duração de vida da folha (DVF - GD) médias encontradas neste período são apresentadas na Tabela 6. Não foram encontradas diferenças significativas para as taxas de senescência foliar (TSF) entre os tratamentos e para TEFT observa-se que apenas o tratamento sem nitrogênio diferiu significativamente dos demais. Já para TEF o tratamento sem nitrogênio apenas não difere da dose de 150 kg de N/ha, diferindo significativamente das demais, as quais são estatisticamente semelhantes entre si. Uma consideração interessante a fazer é que não foram observadas diferenças significativas na taxa de senescência foliar, apesar da grande diferença observada nos IAF's, discordando do relatado por Mazzanti & Lemaire, (1994). Nas avaliações de campo, observou-se inclusive, que no início do desenvolvimento das plantas, as parcelas sem nitrogênio iniciaram a senescência antes que as parcelas com nitrogênio. Nas maiores doses de nitrogênio observava-se no final do período de avaliação que as plantas tinham folhas verdes inclusive nos estratos inferiores da planta, mostrando que, possivelmente, a translocação de nitrogênio das folhas velhas para as novas não foi necessária devido à disponibilidade deste nutriente. Também não foram observadas diferenças significativas para DVF e para filocrono (Tabela 6 e Figura 13).

Tabela 6 Taxa de alongação foliar – (TEF - mm/folha/°GD), a taxa de alongação foliar total (TEFT - mm/GD), a Taxa de aparecimento de folhas – (Filocrono - GD), a taxa de senescência foliar - TSF (mm/ GD) e a duração de vida da folha (DVF - ·GD) média observadas no período compreendido entre a emergência das plantas e o 1º corte em cinco níveis de adubação nitrogenada.

Tratamento (kg de N / ha)	TEF (mm/folha/GD)	TEFT mm/GD	Filocrono GD	TSF mm/GD	DVF GD
0	0,158 ^{b*}	0,507 ^b	71,67 ^a	0,073 ^a	317,56 ^a
75	0,223 ^a	0,759 ^a	71,35 ^a	0,083 ^a	324,31 ^a
150	0,205 ^{ab}	0,707 ^a	69,75 ^a	0,073 ^a	261,40 ^a
225	0,236 ^a	0,790 ^a	77,58 ^a	0,078 ^a	333,07 ^a
300	0,224 ^a	0,819 ^a	81,13 ^a	0,070 ^a	336,66 ^a
CV	20,07	20,83	19,14	32,54	24,34

*Letras representam diferenças pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

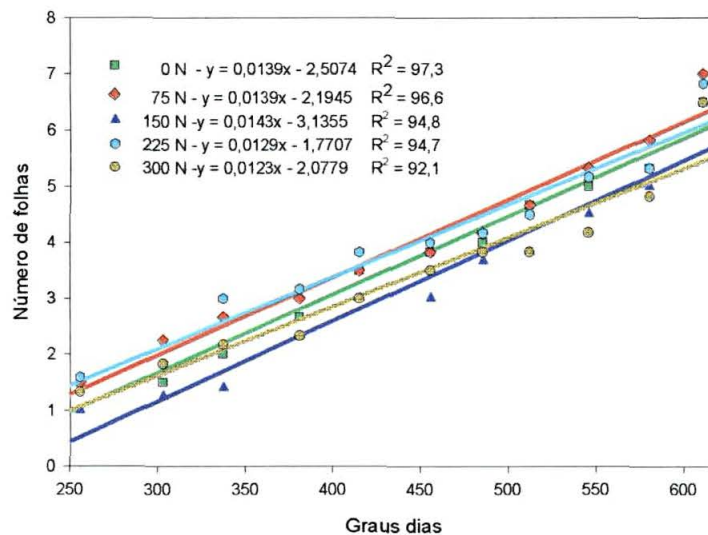


Figura 13 – Relação entre número de folhas produzidas e o acúmulo de graus-dia, no primeiro crescimento (estabelecimento) da aveia preta IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio.

Pela análise combinada dos resultados, percebe-se que a taxa de senescência não justificaria a diferença de produtividade encontrada entre os tratamentos e que as taxas de expansão foliar justificariam apenas as diferenças entre os tratamentos com N e na ausência deste. O IAF e a produção de MS/ha são provavelmente explicados por

uma combinação das respostas observadas nas Figuras 10 e 11, ou seja, perfilhamento, comprimento foliar, além das taxas de expansão e aparecimento de folhas e também pelo tamanho, número e duração de vida das folhas. Esta “visão” integrada dos parâmetros morfogênicos ajuda a compreender as inter-relações e as mudanças nas prioridades de alocação de carbono. Lemaire & Chapman (1996) discorrem sobre estas inter-relações e como as mesmas interagem com o ambiente e com o manejo e contribuem para a formação e/ou reconstituição da área foliar.

A evolução dos teores de nitrogênio na matéria seca das plantas em função das diferentes doses utilizadas e com o acúmulo dos graus-dia, encontra-se na Figura 14. O efeito linear dos graus-dia para este fator é um pouco mais elevado para esta característica do que o encontrado para as demais, apesar de bastante inferior ao efeito linear encontrado para dose. Os teores aumentam significativamente com as doses e decrescem com o acúmulo dos graus-dia, comprovando o efeito de diluição do nitrogênio com o acúmulo da matéria seca proposto por Lemaire *et al.* (1989).

Outro aspecto a considerar é a quantidade de nitrogênio presente na matéria seca da parte aérea das plantas e sua relação com a quantidade aplicada. Por exemplo, no momento do corte, na testemunha havia 966,3 kg de MS/ha com um teor médio de 2,01 % de nitrogênio, o que corresponderia a um total de 19,38 kg de N. No tratamento com o equivalente a 75 kg de nitrogênio, havia um total de 2465,6 kg de MS/ha, perfazendo, portanto um total de 47,28 kg de N. Como havia se optado pelo parcelamento da dose, neste tratamento tinha sido aplicado somente 25 kg de N /ha até o momento do corte e a diferença entre a quantidade total de N perfaz 27,89 quilos. Numa análise simplista, poder-se-ia sugerir que houve uma recuperação de mais de 100% do nitrogênio aplicado, o que não seria possível. Na verdade, o que se observou foi um maior desenvolvimento inicial onde se aplicou nitrogênio, o que provavelmente possibilitou uma maior absorção deste elemento do solo. Para as demais doses, a porcentagem de nitrogênio encontrada na parte aérea das plantas em relação ao total aplicado até aquele momento foi respectivamente de 96,7; 81,1 e 57,3, para as doses de 150 (50); 225 (75) e 300 (100) kg de N /ha.

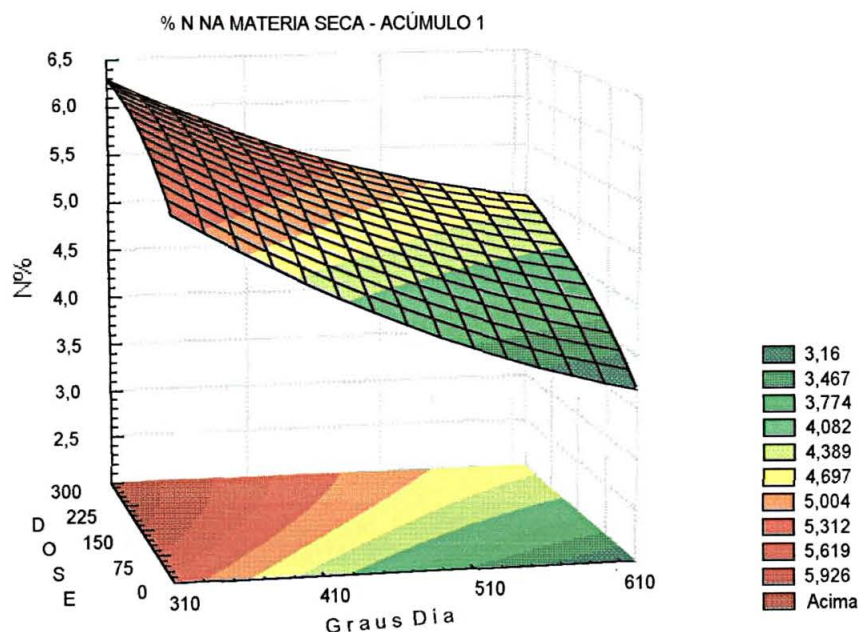


Figura 14. Evolução do teor de nitrogênio (%N) da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – 1^o acúmulo.

4.2.2 2^o período de avaliação (2^o crescimento, 2^o acúmulo / corte ou 1^o rebrota)

Na avaliação do crescimento após o primeiro corte (rebrota que vai originar o 2^o corte), observa-se na Tabela 4 que os modelos apresentaram um menor coeficiente de determinação (R^2) do que o encontrado anteriormente para as mesmas características. Apesar disto, os R^2 mantiveram-se em níveis satisfatórios (>73,4 %), com ajuste significativo ao nível de 1% de probabilidade e coeficientes de variação de 13,22, 16,75; 18,70; 7,10; 15,65 e 10,74 para, respectivamente, MS/ha, IAF, perfilhamento, comprimento foliar, relação lâmina foliar:colmo e % de nitrogênio. Os efeitos lineares tiveram influência de maior magnitude para todas estas características, exceto relação lâmina foliar: colmo, na qual foi observada uma maior influência da interação, seguida pelos efeitos quadráticos (Tabela 5).

A superfície de resposta da Figura 15 demonstra a evolução do acúmulo de matéria seca da aveia na rebrota. Foi observada resposta no acúmulo de matéria seca às doses de N utilizadas, sendo que no início ocorreu uma melhor rebrota nas doses intermediárias de nitrogênio (150 e 225 kg/ha). Este fato pode ser consequência da aparente mudança de prioridade de alocação de carbono na maior dose de nitrogênio relatada anteriormente (menor relação lâmina foliar:colmo, indicando um possível início

de alongamento do caule). Com o acúmulo de graus-dia, as plantas deste tratamento se recuperaram e acumularam matéria seca em quantidade que não diferiu estatisticamente das doses de 150 e 225 kg/ha. Observa-se na Figura 17 uma resposta altamente significativa do perfilhamento ao acúmulo de graus-dia e às doses de nitrogênio. Segundo Whitehead (1995), a deficiência do nitrogênio restringe o perfilhamento da pastagem e, mais importante ainda, restringe o crescimento de folhas individuais e, portanto, a sua capacidade fotossintética. Greenwood *et al.* (1986) sugeriram que a fotossíntese declina quase que linearmente com o decréscimo da percentagem de N na folha. Gastal *et al.* (1992), encontraram uma diminuição na taxa de fotossíntese por unidade de área foliar em baixa disponibilidade de N (menor concentração da rubisco).

A maior contribuição do acúmulo de graus-dia na explicação do modelo (Tabela 5) parece indicar que as plantas submetidas às maiores doses de nitrogênio no ciclo anterior foram mais prejudicadas por ocasião do corte de uniformização. Fato que pode ser melhor compreendido pela interpretação das Figuras 18 e 19, que mostram um maior comprimento de folhas e uma maior relação lâmina foliar:colmo nas menores doses de nitrogênio no início da rebrota, também observado por Viégas (1998) em azevém. Apesar de não haver grandes diferenças de IAF no início da rebrota entre os tratamentos, nas maiores doses havia, proporcionalmente, menos folhas para manter níveis de fotossíntese, suficientes para a rebrota e a manutenção dos tecidos remanescentes da desfolha. Outro aspecto a considerar, é o elevado efeito da disponibilidade de nitrogênio sobre a rebrota (Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 21).

O incremento do IAF (Figura 16) foi devido tanto ao aumento do perfilhamento (Figura 17) e do número de folhas, quanto do comprimento foliar (Figura 18). O aumento do perfilhamento e do número de folhas foi mais significativo nas maiores doses de nitrogênio (Figura 17) do que em doses menores.

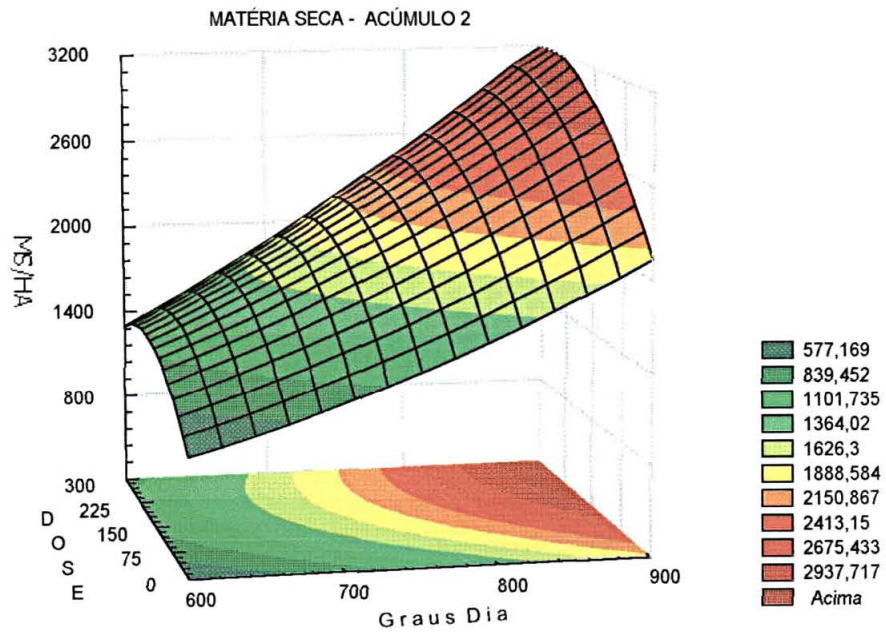


Figura 15. Evolução do acúmulo de matéria seca da parte aérea da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – 2 ° crescimento.

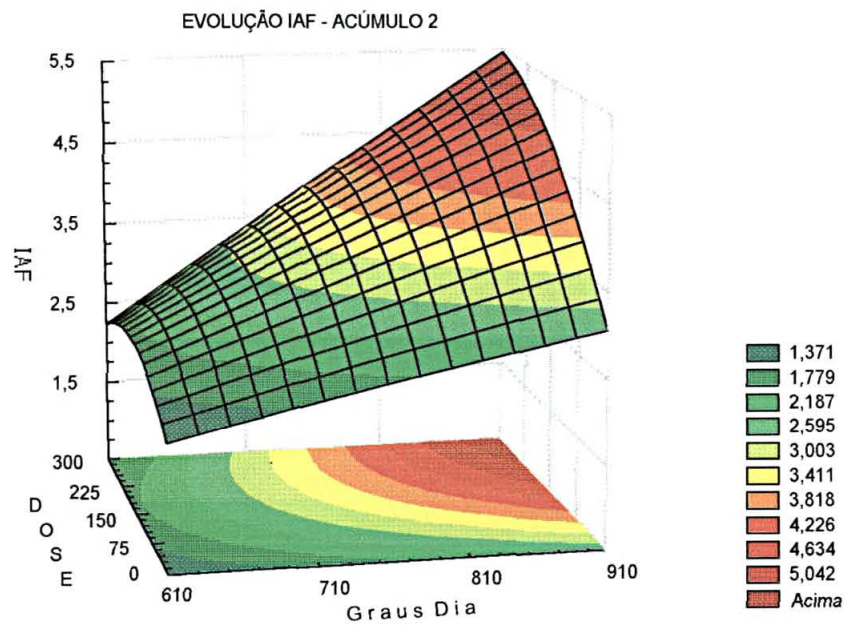


Figura 16. Evolução do índice de área foliar da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 2.

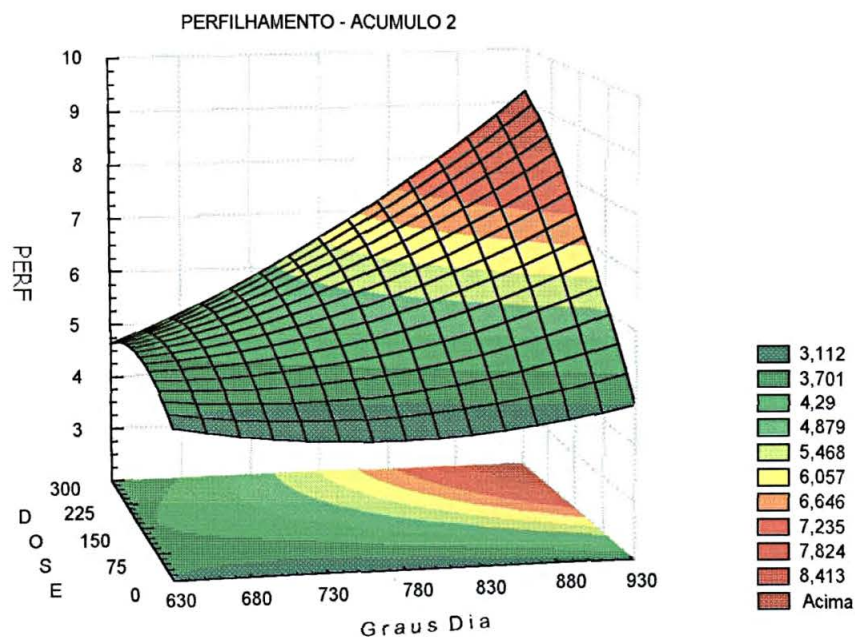


Figura 17. Evolução do número de perfilhos por planta da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 2.

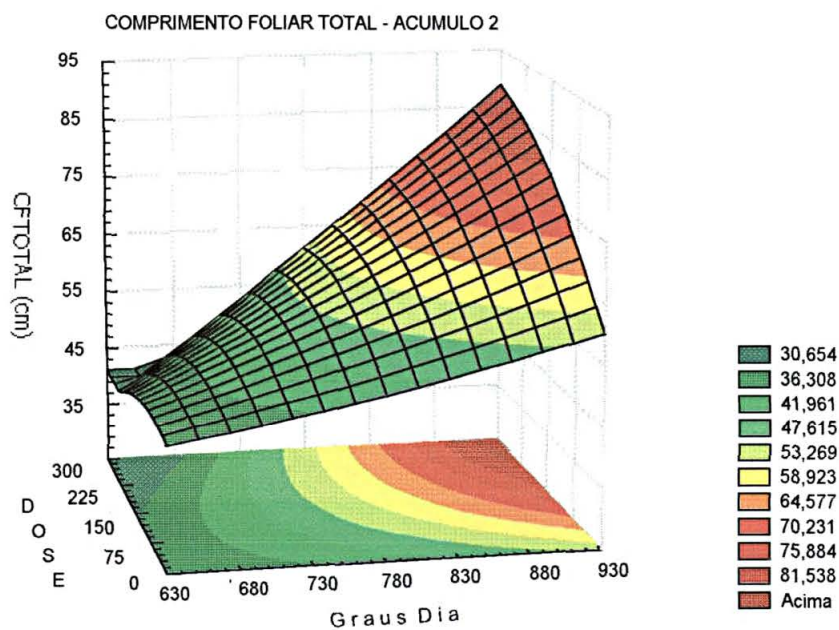


Figura 18. Evolução do comprimento foliar total da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 2.

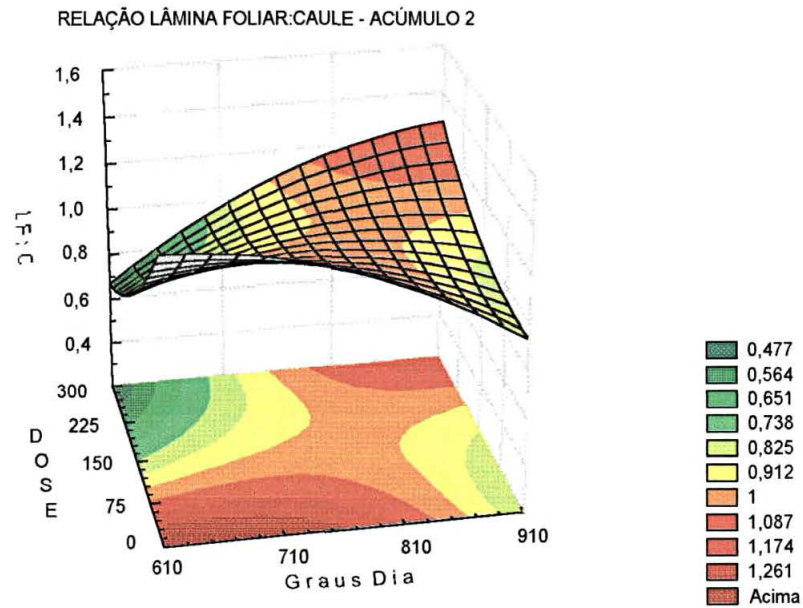


Figura 19. Relação lâmina foliar:caule da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 2.

Como observado no primeiro acúmulo, as Figuras 15 e 16 (MS/ha e IAF) assumem formas parecidas no espaço, demonstrando correlação entre estas características e também com o perfilhamento e o comprimento foliar (Figuras 17 e 18), os quais foram significativamente alterados pela disponibilidade de nitrogênio. O incremento do número de perfilhos neste crescimento parece ser altamente dependente da disponibilidade de nitrogênio e observa-se um resposta significativa do comprimento foliar aos tratamentos. O comprimento da lâmina foliar é uma característica morfológica altamente influenciada pelo ambiente (Eggers,1999), e responsiva à fertilização nitrogenada. É importante ressaltar que neste crescimento parece ocorrer concomitantemente uma expansão do IAF e um alongamento significativo dos colmos, que pode ter um *importante reflexo* em termos de produção animal, e ajudam a explicar o comportamento observado na Figura 19, na qual, nos tratamentos com maior disponibilidade de nitrogênio, aumenta a relação lâmina foliar:caule com o acúmulo de graus-dia, ao contrário do que se observa na ausência de N. Outra possível consequência é que com o aumento da relação lâmina foliar:colmo, com maiores doses de nitrogênio, pode ser necessária a modificação do período e/ou da intensidade de utilização do pasto e do estrato a ser pastejado pela combinação: altura e/ou frequência de corte e nível de disponibilidade de nitrogênio.

Na Tabela 7 são apresentadas as taxas encontradas neste período, para alongação foliar – (TEF - mm/folha/GD), alongação foliar total (TEFT - mm/GD), aparecimento de folhas – (Filocrono - GD), senescência foliar - TSF (mm/ GD) e para duração de vida das folhas (DVF - GD). Não foram encontradas diferenças significativas a maioria destas características avaliadas. Destaca-se apenas o resultado encontrado para TEFT, onde o tratamento sem nitrogênio apenas não diferiu do tratamento com 75 kg de nitrogênio por hectare, o qual por sua vez não diferiu da dose de 150 kg de N / ha e esta não diferiu das doses de 225 e 300 kg. Ou seja, observa-se um incremento da TEFT com o aumento das doses de nitrogênio. Não foram observadas diferenças significativas para o filocrono (Tabela 7 e Figura 20). Observa-se que com maiores doses de nitrogênio, a TEFT tende a ser maior, têm-se folhas mais compridas (Figura 18), mais perfilhos por planta (Figura 10), e maior área foliar (Figura 16), o que resulta num maior acúmulo de matéria seca (Figura 15).

Tabela 7. Taxa de alongação foliar – (TEF - mm/folha/GD), a taxa de alongação foliar total (TEFT - mm/GD), a Taxa de aparecimento de folhas – (Filocrono - GD), a taxa de senescência foliar - TSF (mm/ GD) e a duração de vida da folha (DVF - GD) médias observadas no período compreendido entre o primeiro e o segundo corte.

<i>Tratamento (kg de N / ha)</i>	<i>TEF (mm/folha/GD)</i>	<i>TEFT mm/GD</i>	<i>Filocrono GD</i>	<i>TSF mm/GD</i>	<i>DVF GD</i>
0	0,121 ^{a*}	0,342 ^c	87,04 ^a	0,105 ^a	290,33 ^a
75	0,122 ^a	0,457 ^{bc}	88,69 ^a	0,111 ^a	181,63 ^a
150	0,138 ^a	0,520 ^{ab}	100,66 ^a	0,140 ^a	234,97 ^a
225	0,165 ^a	0,597 ^a	91,19 ^a	0,100 ^a	216,26 ^a
300	0,155 ^a	0,557 ^a	105,26 ^a	0,115 ^a	207,76 ^a
CV	24,64	24,84	13,66	28,50	24,34

*Letras representam diferenças pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Filocrono - 2^o acúmulo

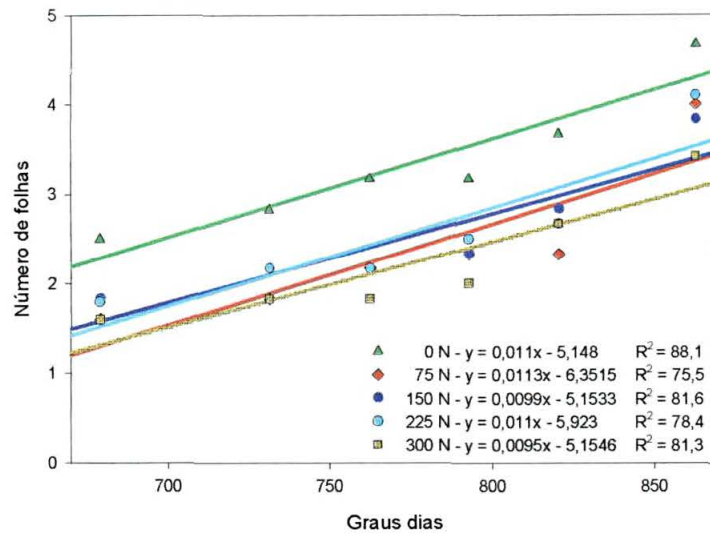


Figura 20 – Relação entre número de folhas produzidas e o acúmulo de graus-dia, no segundo crescimento (1^o rebrota) da aveia preta IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio.

Na Figura 21, observa-se a evolução dos teores de nitrogênio na matéria seca das plantas em função das diferentes doses utilizadas e com o acúmulo dos graus-dia. O efeito linear dos graus-dia para este fator foi superior ao encontrado para dose (Tabela 5) e os maiores teores de N foram encontrados de 120 a 180 graus-dia após o início da rebrota e decresceram depois de terem alcançado este valor. Os resultados observados contrariam o modelo de diluição proposto por Lemaire & Culleton (1989), em que o máximo teor de nitrogênio é encontrado no início do desenvolvimento das plantas. Porém, logo após o corte, as folhas remanescentes são normalmente do estrato inferior das plantas (mais velhas e que estavam sombreadas), e, portanto, com menores teores de nitrogênio devido a translocação. O nitrogênio, por ser um nutriente móvel dentro da planta é normalmente translocado das folhas velhas para as folhas em formação (Thomas & Stoddart, 1980).

Com a rebrota, as plantas provavelmente absorveram nitrogênio do solo (o qual havia sido disponibilizado, via fertilização, logo após o corte) e o alocaram preferencialmente na formação de novas folhas e após atingir um máximo teor foliar, estes decrescem com o acúmulo de matéria seca, concordando então com o modelo

proposto por Lemaire & Culleton (1989). Cabe ressaltar, também, que o modelo proposto por estes autores é válido para acúmulos de matéria seca superiores a 1 tonelada por hectare, fato não observado no campo, imediatamente após o corte.

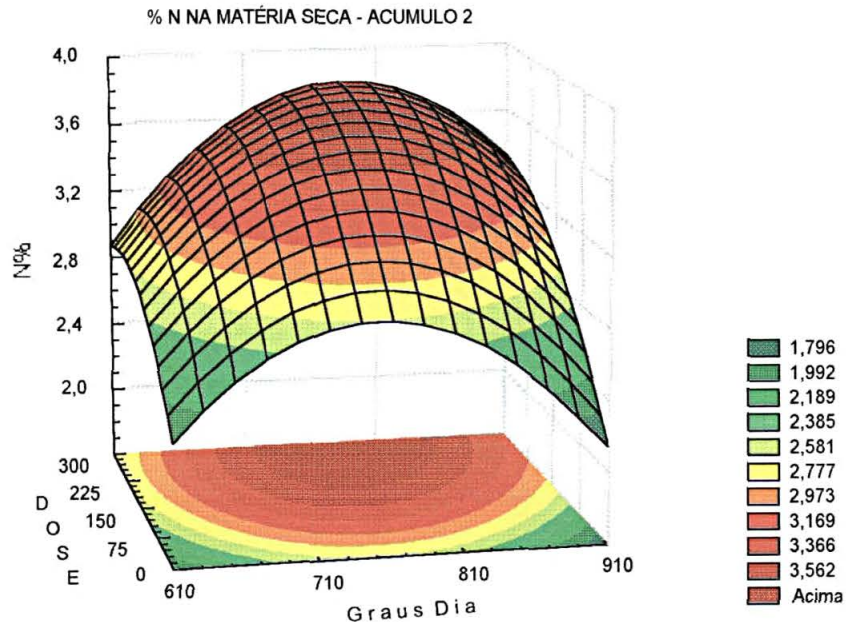


Figura 21 – Evolução do teor de nitrogênio (%N) da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 2.

4.2.3. 3º período de avaliação (3º crescimento, 3º acúmulo ou 2º rebrota)

Na avaliação do crescimento após o segundo corte (2ª rebrota e que vai originar o 3º corte), foi observado na Tabela 4 que os modelos apresentaram maiores coeficientes de determinação (R^2) do que os encontrados anteriormente para as mesmas características na primeira rebrota. Os R^2 foram considerados altos e com ajuste significativo ao nível de 1% de probabilidade, mostrando uma boa adequação do modelo. Os coeficientes de variação encontraram-se em níveis satisfatórios, com exceção do calculado para relação lâmina foliar:colmo. Os efeitos lineares tiveram influência de maior magnitude para todas as características avaliadas, observando-se entretanto, uma contribuição um pouco maior dos efeitos quadráticos para relação lâmina foliar:colmo e comprimento foliar.

A Figura 22 demonstra a resposta no acúmulo de matéria seca, não havendo grandes diferenças entre os tratamentos com doses iguais ou superiores a 150 kg de N. Quanto ao IAF, observa-se inicialmente uma diminuição da área foliar, seguida de uma fase de relativa estabilização e/ou lento desenvolvimento e posteriormente uma significativa resposta às doses de nitrogênio (Figura 23). Esta diminuição inicial do IAF é explicada por um aumento momentâneo da taxa de senescência foliar. Aparentemente ocorre um estímulo para a formação de folhas novas devido ao corte e como as folhas remanescentes são mais velhas e com uma menor eficiência fotossintética, a planta transloca nitrogênio, aumentando a senescência foliar. À fase de relativa estabilização e/ou lento desenvolvimento é normalmente observada em sistemas biológicos, sendo uma etapa inicial de formação de primórdios foliares e/ou folhas, em que a limitada área foliar limita um desenvolvimento mais acelerado da planta. A partir desta fase observa-se uma rápida expansão foliar e resposta significativa a fertilização nitrogenada.

Nesta rebrota, não há aumento significativo no número de perfilhos por planta (Figura 24), provavelmente, devido, a que nesta fase, as plantas já devem estar induzidas ao florescimento, havendo portanto uma alocação de carbono preferencialmente em estruturas reprodutivas. Entretanto, observa-se um forte incremento do comprimento foliar (Figura 25) e da relação folha: colmo (Figura 26). Estes incrementos mostram que nesta fase, a planta após o corte, renovou rapidamente a área foliar, a qual é fundamental para a formação de grãos, investindo menos em componentes estruturais não relacionados à reprodução. Gramíneas anuais não perfilham após o florescimento (Favoretto, 1993).

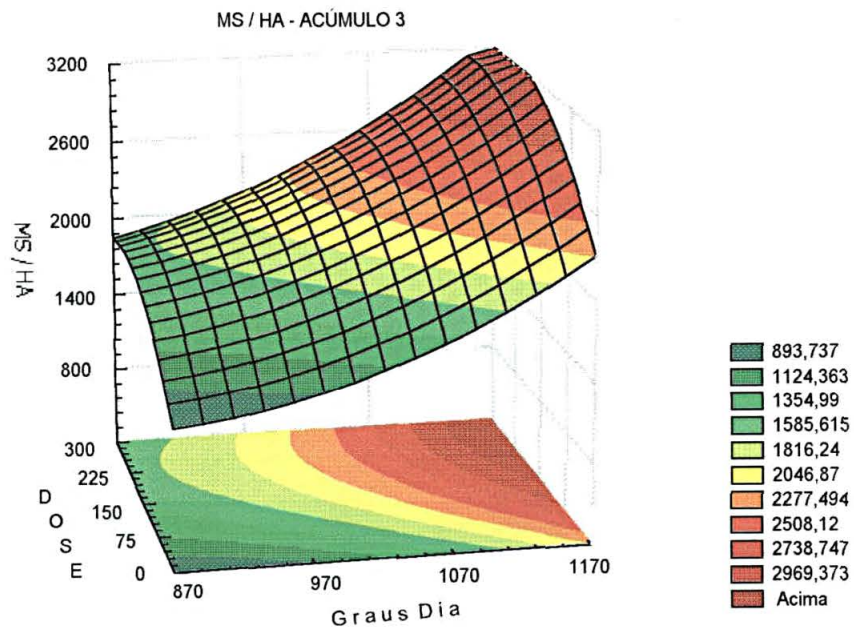


Figura 22. Evolução do acúmulo de matéria seca da parte aérea da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 3.

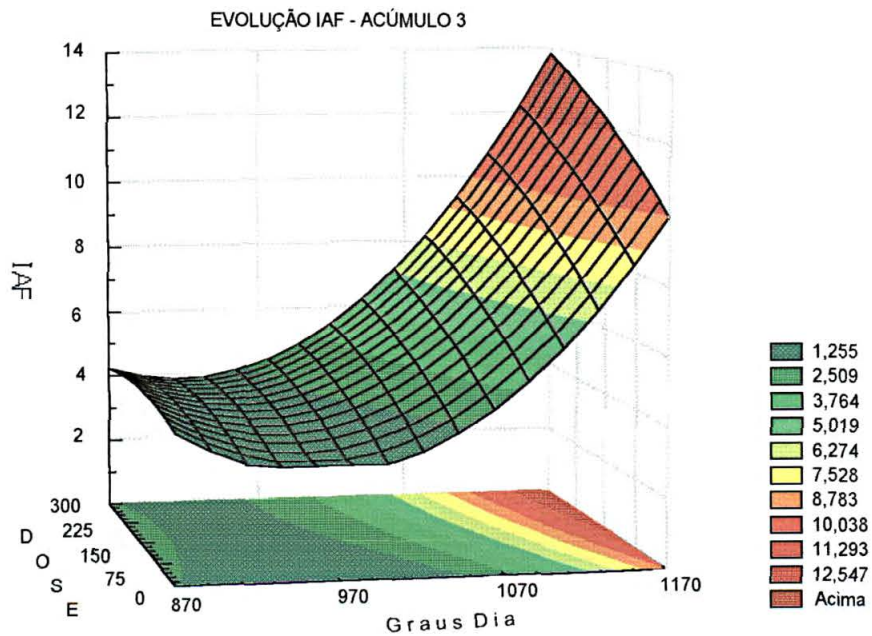


Figura 23 – Evolução do índice de área foliar da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 3.

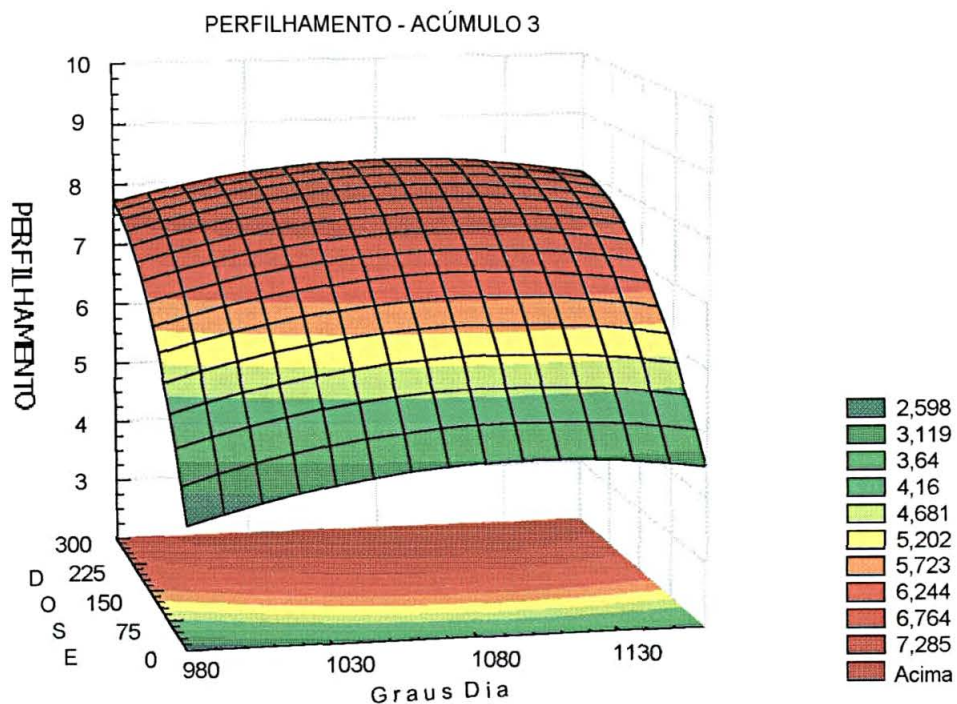


Figura 24 – Evolução do número de perfis por planta da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 3.

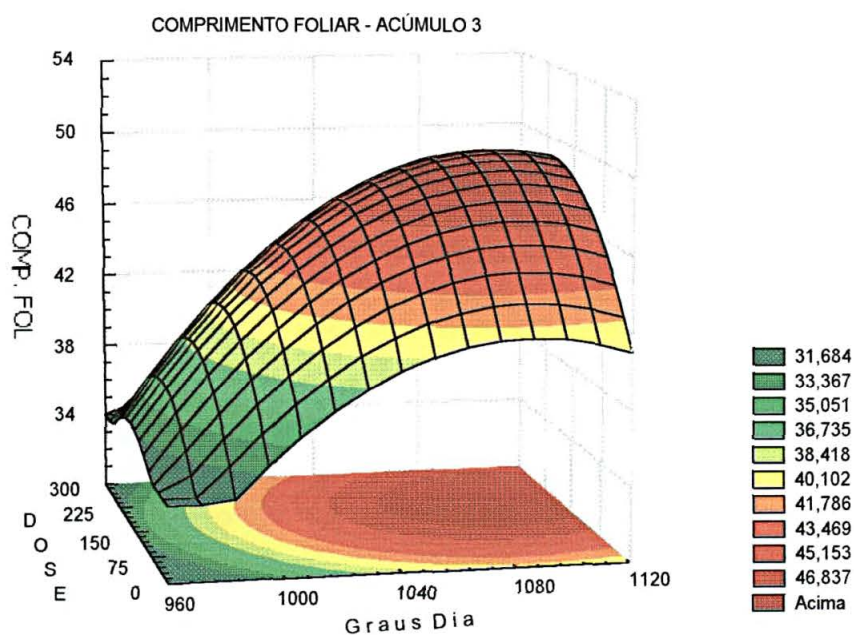


Figura 25. Evolução do comprimento foliar total da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 3.

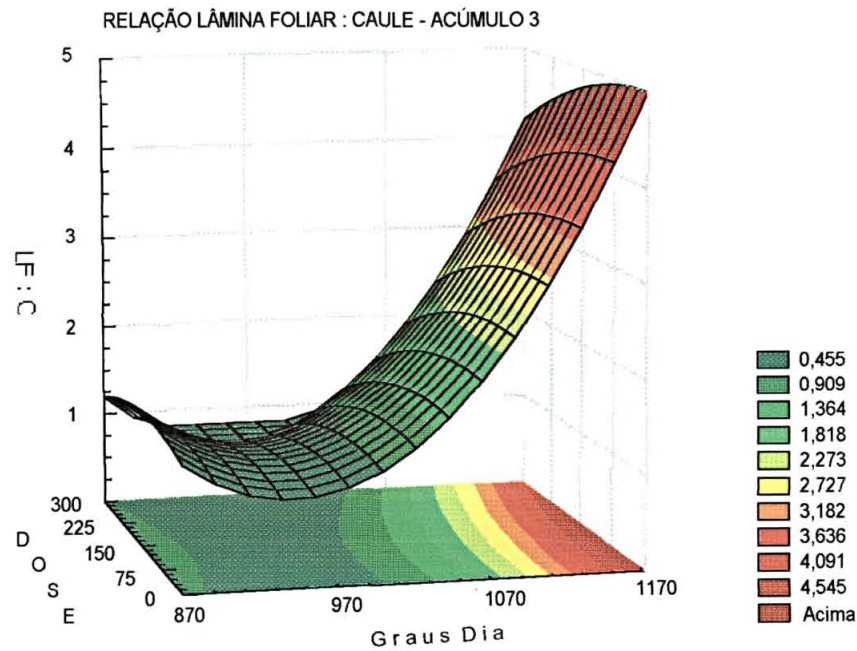


Figura 26. Relação lâmina foliar:caule da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 3.

As taxas de alongação foliar (TEF - mm/folha/GD), alongação foliar total (TEFT - mm/GD), aparecimento de folhas (Filocrono - GD), senescência foliar (TSF - mm/ GD) e a duração de vida da folha (DVF - GD) neste período são apresentados na Tabela 8. Foram encontradas diferenças significativas para as taxas de expansão foliar, tanto média como total. Na ausência de nitrogênio foram encontradas as menores taxas, as quais porém não diferiram das encontradas para os demais tratamentos, com exceção da observada para a dose de 75 kg de N / ha, a qual entretanto não diferiu da encontrada para as demais doses. Não foram observadas diferenças significativas para o filocrono, taxa de senescência foliar e duração da vida das folhas (Tabela 8 e Figura 27).

Tabela 8. Taxa de alongação foliar – (TEF - mm/folha/GD), a taxa de alongação foliar total (TEFT - mm/GD), a Taxa de aparecimento de folhas – (Filocrono - GD), a taxa de senescência foliar - TSF (mm/ GD) e a duração de vida da folha (DVF - GD) médias observadas no período compreendido entre o segundo e o terceiro 1º corte.

Tratamento (kg de N / ha)	TEF (mm/folha/GD)	TEFT mm/GD	Filocrono GD	TSF mm/GD	DVF GD
0	0,080 ^{b*}	0,246 ^b	81,26 ^a	0,075 ^a	214,22 ^a
75	0,135 ^a	0,413 ^a	85,52 ^a	0,115 ^a	209,51 ^a
150	0,117 ^{ab}	0,340 ^{ab}	82,63 ^a	0,103 ^a	165,69 ^a
225	0,103 ^{ab}	0,338 ^{ab}	82,63 ^a	0,099 ^a	178,80 ^a
300	0,122 ^{ab}	0,385 ^{ab}	84,05 ^a	0,079 ^a	186,90 ^a
CV	25,49	29,33	5,07	40,96	22,69

*Letras representam diferenças pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

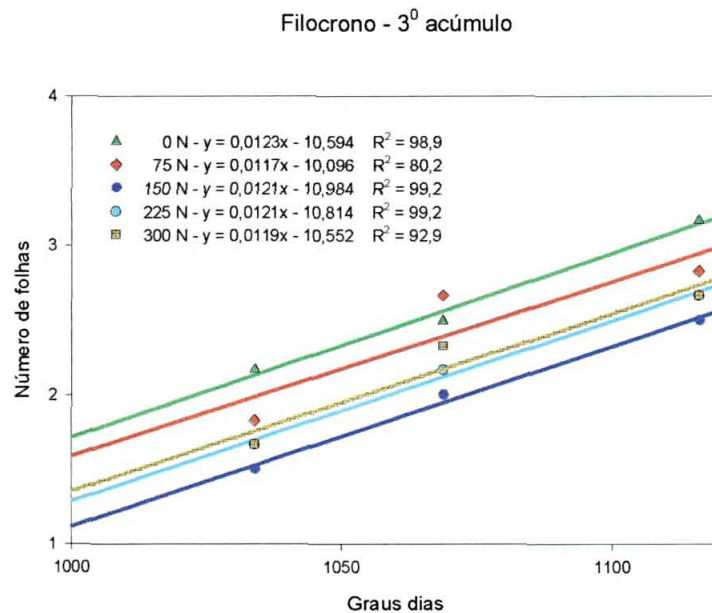


Figura 27. Relação entre número de folhas produzidas e o acúmulo de graus-dia, no terceiro crescimento (2º rebrota) da aveia preta IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio.

Na Figura 28, acúmulo 3, observa-se que os teores foliares de nitrogênio variam pouco com o acúmulo dos graus-dia. Como praticamente não há incremento no número de perfilhos por planta, parece haver uma restrição na demanda de nitrogênio e a diminuição dos teores com o acúmulo de matéria seca. De acordo com o proposto por Lemaire & Culleton (1989), a diminuição dos teores foliares de nitrogênio com o acúmulo de matéria seca, é decorrência da utilização deste elemento em componentes estruturais da planta.

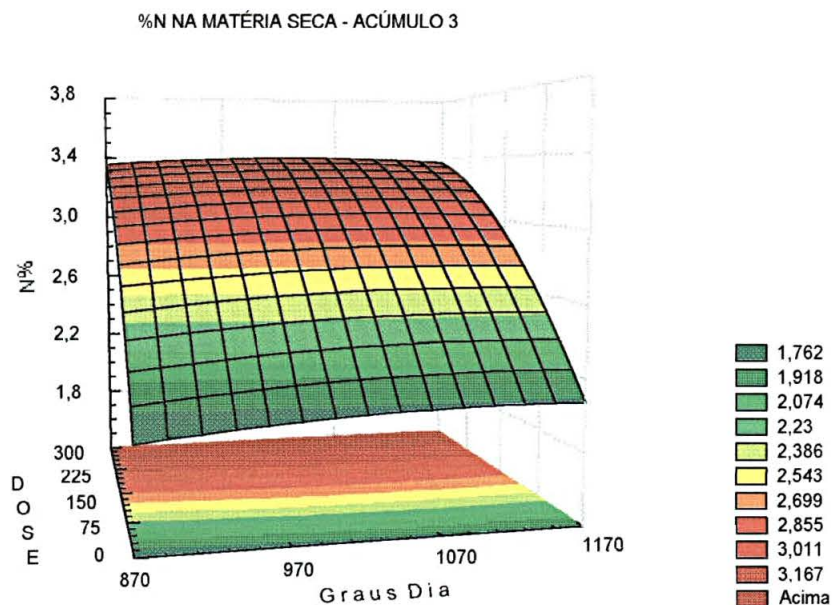


Figura 28. Evolução do teor de nitrogênio (%N) da aveia IAPAR 61 em diferentes doses de nitrogênio e com o incremento dos graus-dia – acúmulo 3.

4.2.4. Avaliação do crescimento de forragem durante a fase vegetativa das plantas

No primeiro e segundo crescimentos durante a fase vegetativa das plantas, observa-se que as Figuras de acúmulo de matéria seca e de IAF (Figuras 8, 9, 15 e 16) tem formas espaciais parecidas. No terceiro, esta tendência também é observada, porém, parece claro, que o corte interferiu na recomposição inicial do IAF (Figura 23). Em resumo, a evolução do acúmulo de matéria seca é altamente correlacionada com a evolução do IAF (dentro dos limites de IAF do trabalho). O que concorda com a afirmação de Brougham (citado por Gomide, 1997) de que o aumento do IAF do relvado determina o rendimento forrageiro, via crescente percentual de interceptação e captura de energia luminosa, até um certo limite, à partir do qual, um aumento

excessivo de IAF incrementa o auto-sombreamento das folhas, diminuindo a taxa fotossintética média por unidade de área foliar. Portanto, manter um IAF ótimo, que permita máximas taxas de crescimento da pastagem deve ser um dos objetivos do manejo da desfolha (Nabinger & Pontes, 2001).

O perfilhamento e o comprimento foliar foram altamente correlacionados com a evolução do IAF nos dois primeiros crescimentos. Sendo que no terceiro crescimento, praticamente não se observou um aumento do perfilhamento. Aparentemente às plantas, neste crescimento já haviam sido induzidas ao florescimento (Favoretto, 1993). O filocrono, a taxa de senescência (TSF) e a duração de vida de folhas (DVF) não foram significativamente alterados pelas doses de nitrogênio, já as taxas de alongação foliar (TEF) e foliar total (TEFT) foram mais influenciadas pelo N. A TEF e a TEFT tem relação direta com o comprimento foliar e este, por sua vez, com o IAF. O comprimento da lâmina foliar é uma característica morfológica altamente influenciada pelo ambiente (Eggers, 1999) e que se mostrou responsiva às fertilizações nitrogenadas.

A relação lâmina foliar:colmo teve um comportamento distinto nos três crescimentos e ajuda a interpretar os estádios fenológicos por quais passaram as plantas durante a avaliação. No primeiro crescimento, às plantas inicialmente não tinham colmos e com o desenvolvimento destas, observou-se uma diminuição desta relação. No crescimento seguinte, observou-se uma significativa alongação do colmo e uma participação significativa deste no total de biomassa aérea das plantas. E por fim, no terceiro crescimento, não observou-se uma expansão significativa dos colmos e a relação aumentou significativamente.

4.3 NITROGÊNIO

4.3.1 Curva de diluição de nitrogênio

Na Figura 29 observa-se o modelo proposto por Greenwood *et al.*, 1986 e os pontos correspondentes a concentração de N na biomassa aérea e a produção de matéria seca de aveia em todos os crescimentos. De acordo com este modelo, nenhuma das doses de nitrogênio foi suficiente para assegurar um teor de nitrogênio nas plantas que excede-se a “concentração crítica” para ser obtida a máxima taxa de

crescimento. A não adequação do modelo parece ser devida ao resíduo encontrado após o corte de uniformização. Uma possível explicação para os resultados obtidos deve-se às características próprias da cultura e cultivar em questão e da metodologia adotada nesta avaliação. A IAPAR 61 é uma cultivar tardia de aveia preta e que foi avaliada sob corte, deixando um resíduo após o corte de uniformização de 7 a 10 cm, metodologia utilizada em vários trabalhos conduzidos por pesquisadores membros da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia (Antoniuzzi & Perim, 2001; Matzenbacher, 2001; Pegoraro, *et al.*, 2001).

O resíduo que permanecia no campo, o qual tinha uma baixa relação lâmina foliar : caule, e era coletado quando das amostragens para avaliação do acúmulo de forragem, sendo a amostra total (resíduo do crescimento anterior mais o novo crescimento) utilizada para análise do teor de nitrogênio. Caules têm normalmente teores de nitrogênio muito inferiores aos encontrados nas folhas (Lemaire & Agnusdei, 1999). Portanto, a matéria seca amostrada durante a rebrota, pode ter consideravelmente mais caules em sua composição total e conseqüentemente, menores teores de N que os previstos (Figura 19).

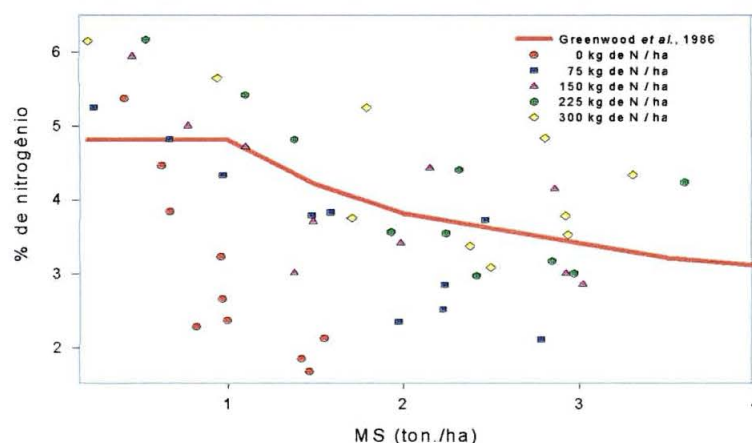


Figura 29 – Concentração do N em relação à produção de massa seca em aveia preta IAPAR 61, nos três primeiros crescimentos avaliados e em função de doses crescentes de nitrogênio, Curitiba, PR, 1999

Optou-se então, pela análise em separado dos dados do 1º crescimento (estabelecimento). Observa-se na Figura 30, que doses superiores a 150 kg de nitrogênio por hectare seriam suficientes para que máximas taxas de crescimento fossem obtidas. Concordando então com o observado para azevém por Viégas, 1998.

Segundo Lemaire & Culleton (1989), para um determinado nível de nutrição nitrogenada é possível estabelecer valores para “a” e “b” correspondendo a uma curva específica de diluição. A determinação do conteúdo ótimo de N em relação à biomassa aérea permite formular um diagnóstico do nível real ou adequado de N para determinada pastagem. Decidiu-se, então, estabelecer valores de “a” e “b” (Tabela 9) para aveia preta no período de estabelecimento (Figura 31) e para as rebrotas (Figura 32), utilizando-se dos dados correspondentes a dose de 225 kg de nitrogênio por hectare, na qual observou-se a máxima produtividade neste experimento durante o período vegetativo das plantas.

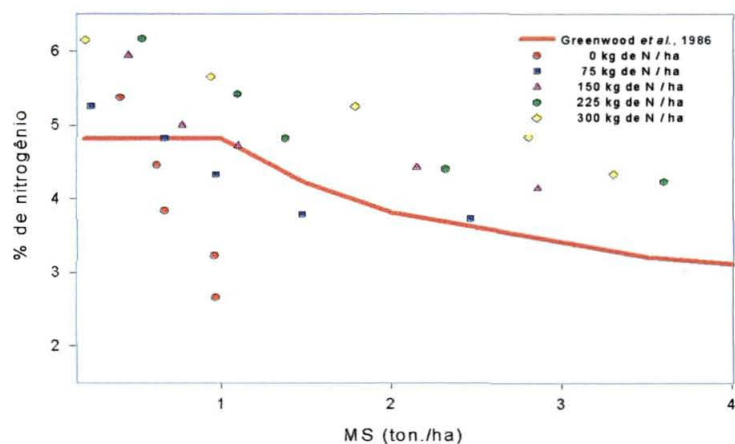


Figura 30 – Concentração do N em relação à produção de massa seca em aveia preta IAPAR 61, no primeiro crescimento (estabelecimento) e em função de doses crescentes de nitrogênio, Curitiba, PR, 1999

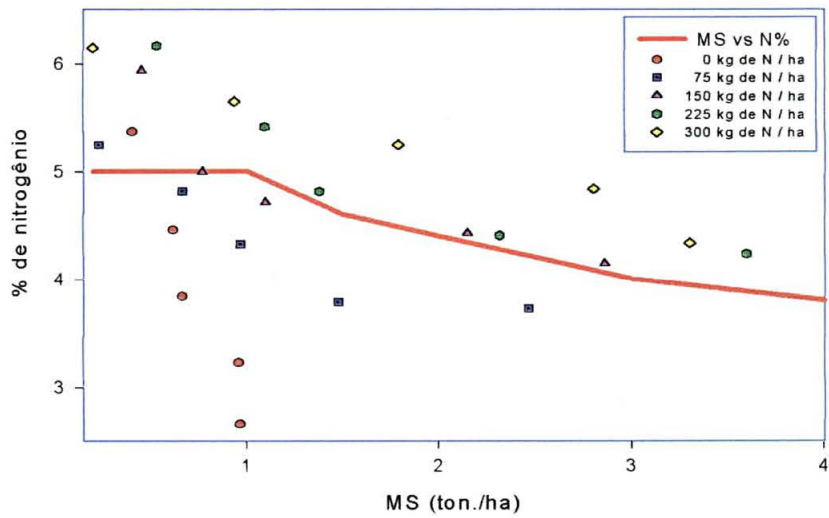


Figura 31 – Concentração do N em relação à produção de massa seca em aveia preta IAPAR 61 na fase de estabelecimento e em função de doses crescentes de nitrogênio, Curitiba, PR, 1999

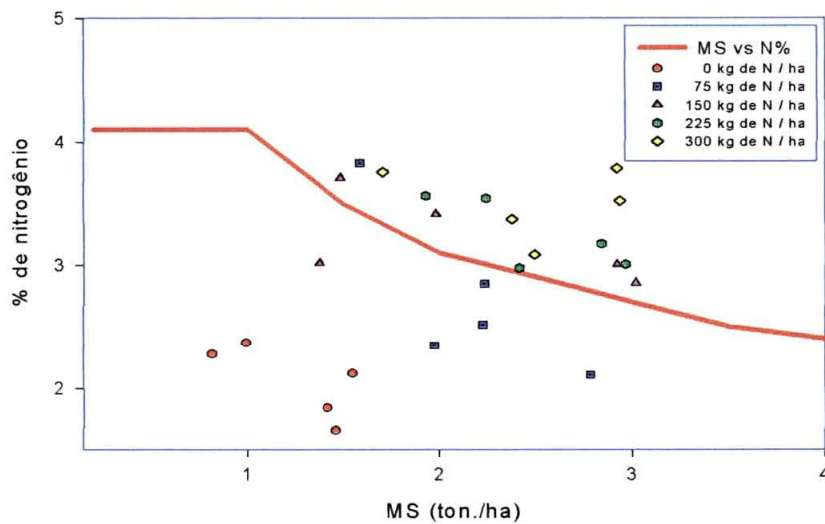


Figura 32 – Concentração do N em relação à produção de massa seca em aveia preta IAPAR 61 em acúmulos após corte de uniformização (rebrote) e em função de doses crescentes de nitrogênio, Curitiba, PR, 1999.

Os valores obtidos para o coeficiente linear "a" e o coeficiente angular "b" nos diferentes modelos, os respectivos coeficientes de determinação (R^2) e o desvio Padrão (DP) são apresentados na Tabela 9, na qual também se observa os coeficientes obtidos por Greenwood *et al.* (1990) e por Viégas (1998) para azevém.

Tabela 9. Coeficientes de regressão **a** e **b** obtidos, coeficientes de determinação (R^2) e desvio padrão obtidos para o modelo de diluição de nitrogênio, neste e em outros trabalhos com gramíneas forrageiras anuais.

	a	b	R^2	Desvio Padrão
Estabelecimento	5,37	-0,21	0,96	0,15
Rebrota	4,56	-0,38	0,58	0,18
Total	5,04	-0,35	0,64	0,57
Greenwood <i>et al.</i> , 1990	4,80	-0,32		
Viégas, 1998	4,6	-0,30	0,70	

Os valores obtidos no presente trabalho são próximos aos obtidos por Greenwood *et al.* (1990), Lemaire *et al.* (1997) e Viégas (1998), e permitem uma avaliação do "status" nutricional das plantas de aveia em relação ao acúmulo de matéria seca. Neste aspecto e separando-se o modelo em dois sub-modelos, respectivamente para o estabelecimento e as rebrotas, consegue-se visualizar que os índices de nutrição nitrogenada (INN) das doses de 225 e 300 kg de N/ha encontravam-se acima dos níveis considerados adequados. Entretanto, observa-se que o INN no tratamento de 150 kg de N/ha encontrava-se em alguns momentos em níveis abaixo dos considerados adequados para que a máxima produtividade fosse obtida. Fato este comprovado pelos rendimentos de matéria seca observados (Tabela 2).

4.4 MODELO DE PREVISÃO DO RENDIMENTO POTENCIAL DE MATÉRIA SECA DE AVEIA PRETA CV. IAPAR 61 EM FUNÇÃO DA RADIAÇÃO ABSORVIDA.

4.4.1 Coeficiente de extinção (k) da PAR

Os valores de k foram estimados utilizando-se a equação proposta pelo método de Monsi & Saeki, 1953, o qual foi adaptado da Lei de Beer (citado por Viégas, 1998), e foram calculados com os dados de radiação transmitida coletados a campo e também modelados em função do IAF, integrados diariamente (das 8:00 às 17

horas), os quais estão apresentados na Tabela 10. Para o modelo, optou-se pela utilização do valor 0,65, o qual representa a média entre os valores de k encontrados.

Tabela 10 - Valores do coeficiente k calculados pelo método modificado de Monsi e Saeki (1953) para aveia preta cv. IAPAR 61.

Período	Tratamento	k*	σ	k**	σ
Estabelecimento	0	0,878	0,009	0,710	0,043
	75	0,569	0,129	0,665	0,145
	150	0,629	0,154	0,622	0,109
	225	0,677	0,122	0,541	0,151
	300	0,451	0,298	0,559	0,221
Rebrota	0	0,855	0,371	0,732	0,051
	75	0,802	0,231	0,632	0,056
	150	0,702	0,136	0,646	0,052
	225	0,515	0,104	0,618	0,066
	300	0,674	0,153	0,600	0,085
Média		0,675		0,632	

*Utilizando valores de radiação transmitida observados no campo

** Utilizando valores de radiação transmitida modelada em função do IAF

O resultado médio (0,65) pode ser considerado alto, visto que a aveia apresenta folhas eretas (Lemaire & Chapman, 1996), porém concorda com o valor utilizado por Kiniry *et al.* (1989) para milho, arroz e trigo. Spannenberg (1997) considerou que o método Monsi e Saeki preencheu os requisitos para a estimação do coeficiente k, que ficou em 0,65 para *D. incanum*, espécie de folhas planófilas.

Kiniry *et al.* (1989) consideraram que variações na EUR observadas dentro de uma mesma espécie, certamente, não estão relacionadas com erros na estimação do k, pois o maior acúmulo de biomassa aérea ocorre com IAF bastante elevado, quando então a intercepção da luz não sofreria tanto efeito deste componente. No presente trabalho, caso se optasse por um coeficiente k igual a 0,55 a EUR passaria de 1,85 (utilizando k = 0,65) para 1,84 no período de estabelecimento, ou seja, um incremento inexpressivo na eficiência de utilização da radiação incidente no dossel.

4.4.2 Coeficientes de reflexão (CR), transmissão (CT) e eficiência de absorção (Ea) medida.

Os coeficientes de reflexão do solo e cultura (CR), transmissão (CT) e a eficiência de absorção (Ea) médios, medidos por meio do balanço de radiação para a cultura da aveia, são apresentados nas Figuras 33, 34 e 35, respectivamente, para os períodos de estabelecimento (1º corte), primeiro (2º corte) e segundo rebrotes (3º corte), juntamente com a evolução média do IAF.

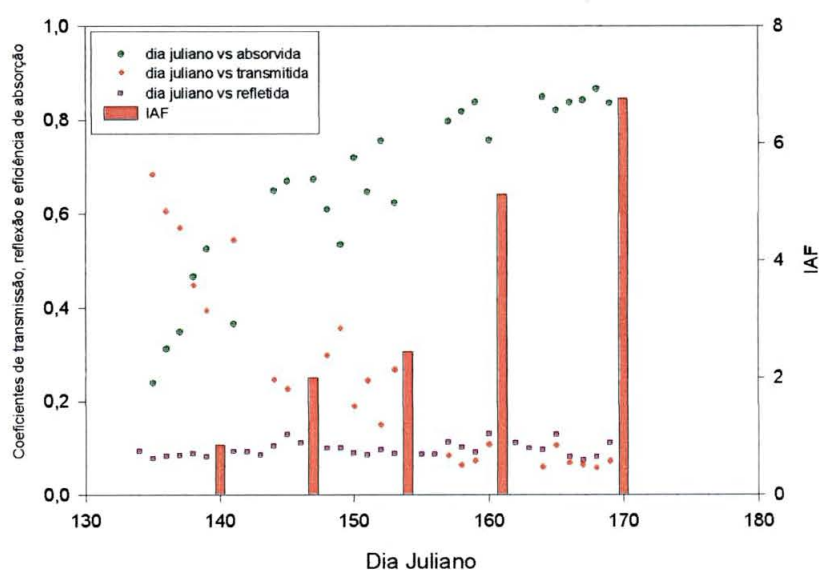


Figura 33 – Evolução dos coeficientes de transmissão (CT), reflexão solo/cultura (CR), eficiência de absorção (Ea) e IAF médios observados durante o 1º crescimento.

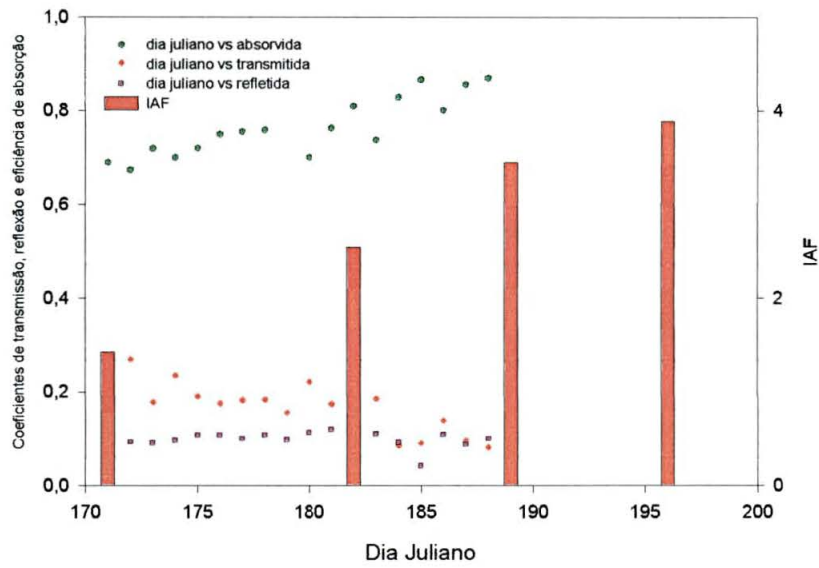


Figura 34 – Evolução dos coeficientes de transmissão (CT), reflexão solo/cultura (CR), eficiência de absorção (Ea) e IAF médios observados durante o 2º crescimento.

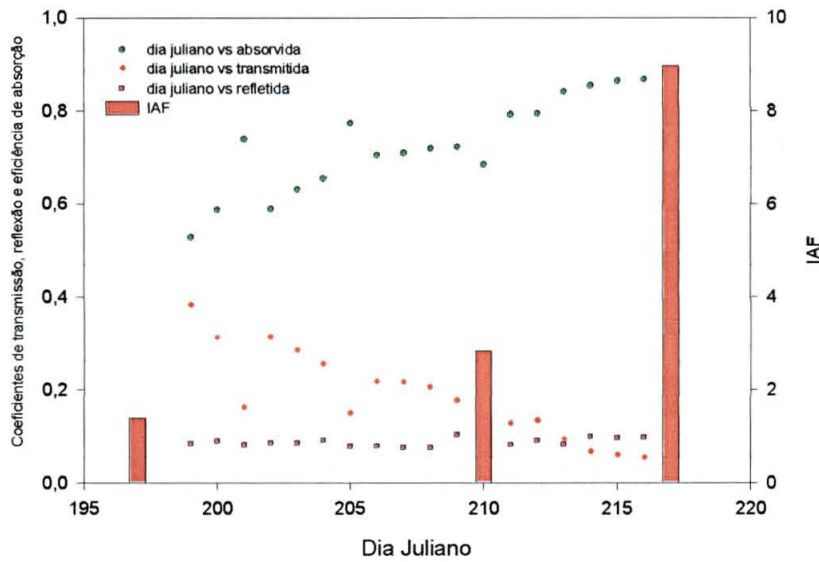


Figura 35. Evolução dos coeficientes de transmissão (CT), reflexão solo/cultura (CR), eficiência de absorção (Ea) e IAF médios observados durante o 3º crescimento.

Observa-se nas Figuras 33, 34 e 35 que o CR praticamente não foi alterado com o desenvolvimento da cultura ($0,096 \pm 0,0145$), já o CT e Ea demonstram estar relacionados à evolução do IAF. Com o passar do tempo, um maior IAF vai sendo acumulado e portanto uma maior quantidade de luz é absorvida pelas plantas, aumentando assim a Ea, e portanto menos luz chega ao nível do solo, diminuindo o CT. Os valores observados nestas Figuras representam a média dos coeficientes e do IAF encontrados para os diferentes tratamentos. Na Figura 36, observa-se a evolução da Ea em função do aumento do IAF. Para o modelo ajustado encontrou-se um exponencial, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 77,30.

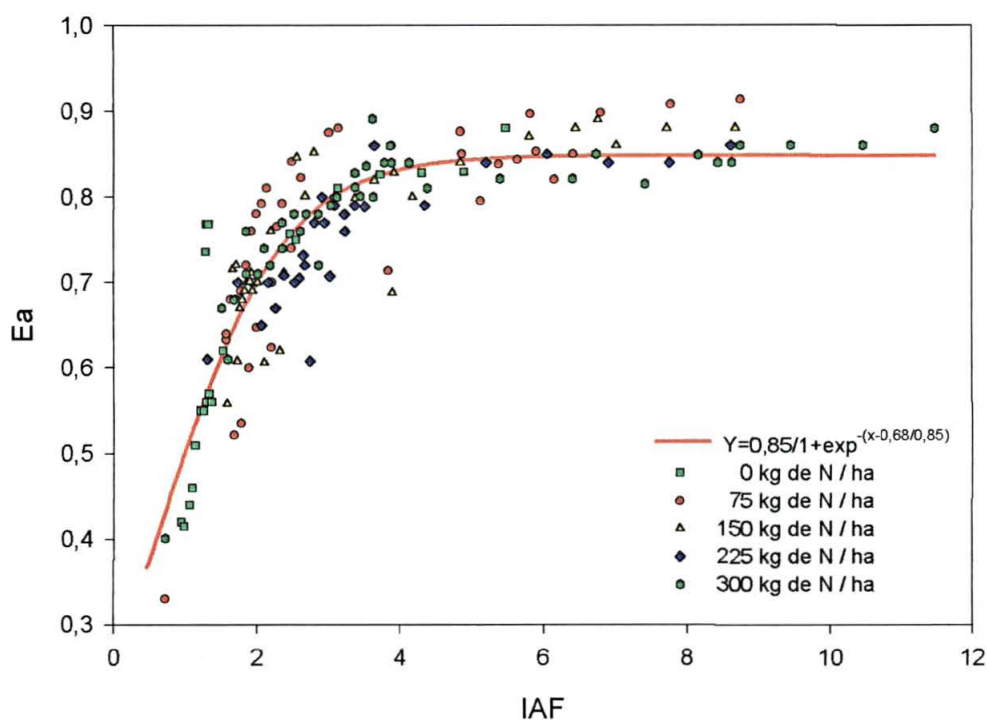


Figura 36. Evolução Ea em função do IAF em três acúmulos de matéria seca e para diferentes doses de nitrogênio, em aveia preta cultivar IAPAR 61.

Observa-se nesta Figura que a Ea é diretamente correlacionada ao índice de área foliar. O pronunciado efeito do nitrogênio sobre os IAF's (Figuras 9, 16 e 23) e sobre as diversas características morfológicas relatadas anteriormente, parecem

explicar a grande resposta desta cultura a este nutriente encontrada neste experimento. Uma menor área foliar acarreta em maiores perdas de radiação por transmissão à superfície do solo. Na fase estabelecimento, enquanto que o IAF médio na dose de 225 kg de nitrogênio era de $4,72 \pm 2,98$, na dose 0, este mesmo índice era de $1,77 \pm 0,53$. Ou seja, durante a maior parte do tempo, no período entre a emergência das plantas e o momento do corte, a testemunha não tinha área foliar suficiente para melhor utilizar a radiação disponível. Um outro fator a ser analisado na Figura 35 é que com um IAF em torno de 5 já se obteria o máximo de interceptação da radiação incidente, valor raramente observado nas parcelas sem fertilização nitrogenada. Por outro lado, supõe-se pela análise da Figura 36 que, com IAF superior a 5, começaria a ocorrer um excessivo sombreamento das folhas dos extratos inferiores, com diminuição na eficiência fotossintética e início da senescência. Isto poderia ser uma contribuição valiosa no manejo de cortes ou pastejo, para evitar desperdícios por senescência de folhas. Com os modelos obtidos para a evolução do IAF em função do acúmulo de graus-dia e das doses de nitrogênio e aplicando-se os valores encontrados na equação " $Y=0,8478/1+\exp^{-x-0,6818/0,8474}$ " apresentada na Figura 36, pode-se estimar a Ea. Estes submodelos matemáticos foram integrados em uma planilha de Excel, mostrada nos anexos de 8 a 11, a qual permite estimar a produção de matéria seca de aveia preta cultivar IAPAR 61 em condições não limitantes.

Viégas (1998), trabalhando com azevém encontrou um modelo que se aproxima muito dos valores encontrados para aveia neste trabalho. Por exemplo, para IAF's iguais a 2 e a 3, este autor encontrou Ea's de 0,699 e 0,805 respectivamente. O modelo encontrado nesta trabalho estimou Ea's de 0,700 e 0,795 para os mesmos IAF's.

Segundo Russel *et al.* (1989), citado por Viégas (1998), o CR é o parâmetro determinante da máxima eficiência de absorção (β) de uma cultura qualquer, uma vez que esta tenha atingido seu IAF ótimo, ou seja, toda a radiação incidente é interceptada. Em outras palavras, quando CT se aproxima de zero, a máxima $Ea = 1 - CR$. Neste trabalho, optou-se por propor a $Ea_{máxima}$, sendo $\beta = 1 - 0,0960 = 0,904$.

4.4.3 Modelo de evolução da Eficiência de absorção (Ea)

A quantidade de PAR que é possível ser absorvida pela cultura depende da Ea da cultura que dentro do modelo geral de acúmulo de MS proposto por Gosse *et al.* (1984) representa o componente biológico. Esta eficiência é dependente do IAF (Figuras 9, 16, 23 e 35) e do coeficiente k (Tabela 5), e ainda de uma terceira variável, “ β ”, que representa a máxima interceptação possível de radiação (0,904).

As eficiências de absorção podem ser estimadas em função do IAF para os diferentes tratamentos (Figura 35) ou também estimadas conforme o modelo proposto por Varlet-Grancher *et al.* (1989), o qual foi utilizado neste trabalho. Este modelo permitiu a estimativa das Ea's para os diferentes tratamentos e para os diferentes períodos. Conforme proposto por estes autores, inicialmente obteve-se um sub-modelo da evolução do IAF em função da soma térmica (ST) para o período de estabelecimento e para a primeira e segunda rebrotas, na dose de 225 kg de N / ha (sem limitação de nitrogênio).

Equação 21 Estabelecimento (1º corte): **IAF = 0,1628*EXP(0,0068*ST)** Anexo 2

Equação 22 Primeiro rebrote (2º corte): **IAF = 1,4093 + 0,0125*ST** Anexo 3

Equação 23 Segundo rebrote (3º corte): **IAF = 1,588*EXP(0,006*ST)** Anexo 4

Logo, as eficiências de absorção (Ea) puderam ser calculadas para os três períodos considerados:

Equação 24 Estabelecimento: **Ea_{est} = 0,904 (1-exp (-0,65(0,1628*EXP(0,0068*ST))))**
Anexo 5

Equação 25 1º Rebrotas: **Ea_{1reb.} = 0,904 (1-exp (-0,65.(-6,020 + 0,012*ST)))** Anexo 6

Equação 26 2º Rebrotas: $Ea_{2reb.} = 0,904 (1 - \exp(-0,65.(1,588 * \exp(0,006 * ST))))$

Anexo7

Observa-se que os valores de Ea obtidos para o tratamento de 225 kg de N / ha foram elevados desde o estabelecimento devido à rápida expansão do IAF. Esta rápida expansão do IAF neste tratamento pode ser creditada às diversas características morfogênicas avaliadas (Figuras 8 a 28). Este nível de adubação atingiu valores próximos à máxima interceptação teórica de 90% da radiação incidente já aos 38 dias após a emergência das plantas (em 3 de junho, com 465,15 graus-dia, este tratamento apresentava um IAF real médio de 4,36 e calculado de 4,83). Entretanto, na mesma data, o tratamento 0, devido ao déficit de N, apresentava valores de 1,68 e 1,79 respectivamente, para os valores médios de campo e para os valores calculados. O menor IAF tem como conseqüências diretas: menor eficiência de absorção de radiação (Ea), menor absorção da radiação fotossinteticamente ativa disponível (PAR), menor taxa de acúmulo de matéria seca (Tabela 3) e menor disponibilidade de forragem no momento do corte (Tabela 2).

4.4.4 Modelo de evolução da biomassa aérea em função da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (PARa).

O modelo de evolução da biomassa aérea em função da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (PARa) foi inicialmente ajustado para o tratamento de 225 kg de nitrogênio por hectare, dose em que este nutriente passava a não limitar o desenvolvimento das plantas, segundo o modelo ajustado de diluição calculado anteriormente.

4.4.4.1 Ajuste do modelo

A equação obtida para a função $MS = f(PARa)$ no período de estabelecimento foi ajustada em um modelo quadrático, similar ao encontrado por Viégas (1998) em azevém para este mesmo período.

Equação 27 Estabelecimento: $MS = 1468,4 - 24,901 * PARa + 0,1816 * PARa^2$

O R^2 obtido para este modelo foi de 0,9757. Inicialmente tentou-se o ajuste de um modelo linear para este período ($y = 21,27PARa - 1054$), para o qual obteve-se um R^2 de 0,8748, que também pode ser considerado satisfatório, apesar de bastante inferior ao obtido com a equação quadrática. A função quadrática está possivelmente relacionada com a evolução exponencial do IAF neste período (Figura 9), mostrando que o “crescimento” é função da interação de diversos fatores: número de perfilhos por planta, comprimento foliar, número de folhas/perfilho, taxas de senescência, etc.

Modelos lineares foram obtidos para as rebrotas, concordando com o proposto por Gosse *et al.* (1984), o qual foi obtido à partir de dados de rebrote da alfafa no período de primavera, sem considerar o período de estabelecimento:

Equação 28 1° Rebrotas: **$MS = 124,17 + 30,203*PARa$** ($R^2=0,973$)

Equação 29 2° Rebrotas: **$MS = 21,568+18,713*PARa$** ($R^2=0,997$)

Sabendo-se que a PARa é uma variável sintética, não medida diretamente, e estimada pelo produto entre a PARo e a Ea, podemos substituir estas equações por:

Equação 30 Estabelecimento: **$MS = 1468,4 - 24,901*(PARi*Ea) + 0,1816*(PARi*Ea)^2$**

Equação 31 1° Rebrotas: **$MS = 124,17 + 30,203*(PARi*Ea)$**

Equação 32 2° Rebrotas: **$MS = 21,568+18,713*(PARi*Ea)$**

Os resultados observados concordam com França (1997), mostrando que a PARi pode ser estimada como sendo 42 % da Rs. A Ea modelada é obtida conforme a equação 8 podemos transformar os modelos acima em:

Estabelecimento:

$$\text{Equação 33 } MS = 1468,4 - 24,901 (0,42 \text{ Rs } (\beta (1 - \exp (-k \cdot IAF)))) + 0,1816 (0,42 \text{ Rs } (\beta (1 - \exp (-k \cdot IAF))))^2$$

1° Rebrotas:

$$\text{Equação 34 } MS = 124,17 + 30,203 \cdot (0,42 \text{ Rs } (\beta (1 - \exp (-k \cdot IAF))))$$

2° Rebrotas:

$$\text{Equação 35 } MS = 21,568 + 18,713 \cdot (0,42 \text{ Rs } (\beta (1 - \exp (-k \cdot IAF))))$$

Sendo o IAF obtido para o estabelecimento e as respectivas rebrotas obtidos por meio dos submodelos anteriormente calculados e sendo que os valores de β e k foram estimados como 0,904 e 0,65, respectivamente, ao substituí-los, temos um modelo geral para cada período:

Estabelecimento:

$$\text{Equação 36 } MS = 1468,4 - 24,901 \cdot (0,42 \text{ Rs } (0,904 (1 - \exp (-0,65 (0,1628 \cdot \text{EXP}^{0,0068 \cdot ST})))))) + 0,1816 \cdot (0,42 \text{ Rs } (0,904 (1 - \exp (-0,65 (0,1628 \cdot \text{EXP}^{0,0068 \cdot ST}))))))^2$$

ou seja,

$$\text{Equação 37 } MS = 1468,4 - 9,454 (1 - \exp (-0,1058 \exp^{0,0068 ST} \cdot \text{Rs})) + 0,069 (1 - \exp (-0,1058 \exp^{0,0068 ST} \cdot \text{Rs}))^2$$

1° Rebrotas:

$$\text{Equação 38 } MS = 124,17 + 30,203*(0,42 \text{ Rs } (0,904*(1 - \exp (-0,65*(1,4093 + 0,0125*ST))))))$$

ou seja,

$$\text{Equação 39 } MS = 124,17 + 11,47*(1 - \exp^{(-0,916 - 0,0081*ST)}) * \text{Rs}$$

2° Rebrotas:

$$\text{Equação 40 } MS = 21,568 + 18,713*(0,42 \text{ Rs } (0,904*(1 - \exp (-0,65*(1,588 \text{EXP}^{0,006*ST}))))))$$

ou seja,

$$\text{Equação 41 } MS = 21,568 + 7,105 (1 - \exp (-1,0322* \text{EXP}^{0,006*ST})) * \text{Rs}$$

4.5 EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DA RADIAÇÃO (EUR)

O coeficiente EUR representa a quantidade de MS aérea em gramas produzidas por Mega Joule (MJ) de PARa. Este coeficiente foi calculado para os diferentes tratamentos no período de estabelecimento (1,84) e para a 1° (3,04) e 2° (1,86) rebrotas. Os valores de EUR obtidos no presente trabalho (média de 2,25) estão próximos aos normalmente encontrados em outros trabalhos realizados com gramíneas anuais de ciclo fisiológico C₃ (de 1,7 a 2,6) (Marino *et al.*, 1996 e Viégas, 1998 em azevém anual; Gallagher & Biscoe, 1978 em revisão sobre cereais de inverno). Porém, são superiores aos obtidos por Spannenberg, 1997 (0,69) em *D. incanum*; Costa, 1997 (0,94) em *P. notatum* e inferiores ao encontrado em girassol (2,457) por Barni, 1994. Este último autor, comenta ainda que a relação entre MS acumulada e PARa acumulado, somente é válida enquanto o dossel está interceptando o máximo de

radiação solar. À medida que ocorre a redução do IAF, diminui a interceptação e absorção da radiação e o modelo perde seu poder de predição.

O valor de EUR um pouco maior encontrado para 2º crescimento (primeira rebrota - 3,04) talvez possa ser explicado, por uma combinação de fatores observados no experimento: um IAF residual de 1,1 e uma significativa presença de bainhas foliares verdes e com pouco sombreamento logo após o corte anterior, o qual possibilitou uma rápida reconstituição da área foliar (IAF = 3,45, sete dias após o início da rebrota) e coincidindo com uma fase de alongação dos colmos. Portanto, as plantas tiveram rápida recuperação foliar e um significativo aumento de altura, acumulando rapidamente biomassa aérea e foram novamente cortadas antes de se ter um incremento nas taxas de senescência. A influência do IAF residual e de sua eficiência fotossintética após o corte, nos diferentes tratamentos, sobre o crescimento no rebrote, necessitam de maiores estudos.

A EUR média calculada para o tratamento sem fertilização nitrogenada foi de 0,600; 1,94 e 1,15 respectivamente para os períodos compreendidos entre a emergência das plantas e 1º corte, entre este e o 2º corte, e deste até o 3º corte, sendo portanto muito inferiores aos encontrados para o tratamento de 225 kg de nitrogênio por hectare (Figura 36). Analisando a Figura 37 observa-se que a restrição nutricional reduziu a eficiência de conversão da radiação absorvida em biomassa aérea (EUR). Portanto, a deficiência de nitrogênio, além de restringir o desenvolvimento de uma área foliar adequada para captar o máximo de radiação por unidade de área, reduzindo a quantidade de PAR absorvida, diminui, ainda, a própria eficiência de conversão da radiação absorvida em biomassa aérea.

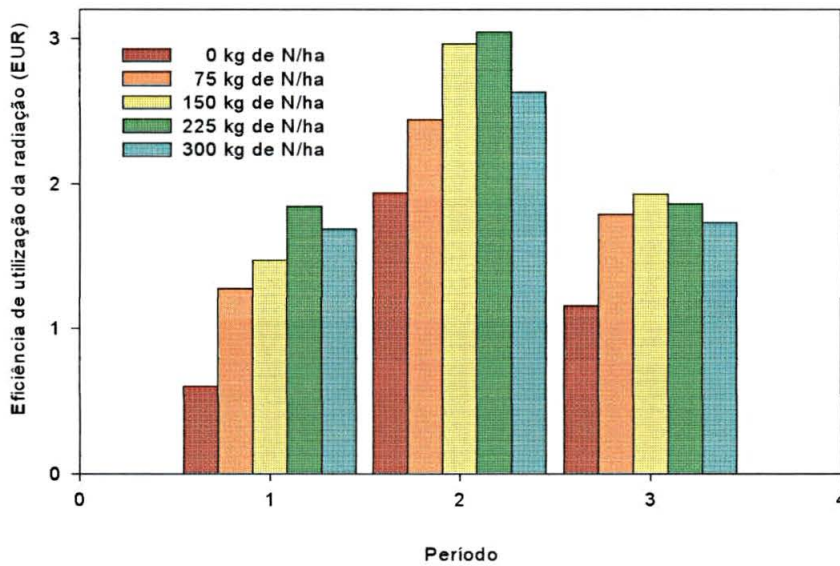


Figura 37. Eficiência média da utilização da radiação (EUR) dos diferentes tratamentos entre a emergência das plantas e 1º corte (1), entre este e o 2º corte (2), e deste até o 3º corte (3).

Este resultado é similar ao encontrado por Viégas (1998) em azevém e por Gastal *et al.* (1992) trabalhando com festuca, o qual encontrou que em níveis inferiores de fertilização nitrogenada (0 e 50 kg de N/ha), havia uma redução no acúmulo de MS devido, em parte, à diminuição da EUR e em parte a uma diminuição na quantidade de PARa devido à redução na área foliar. Fato também observado por Mazzanti *et al.* (1996) trabalhando com aveia e azevém anual na Argentina.

5 CONCLUSÕES

- A disponibilidade de nitrogênio que assegura uma condição não limitante neste elemento, nas condições do experimento, foi alcançada com aplicações de fertilizante nitrogenado superiores a 225 kg N/ha.
- Os submodelos para estimativa da evolução do IAF baseados no acúmulo de graus-dia (GD), e da eficiência de absorção (Ea) baseado no coeficiente de extinção (K) e no sub-modelo de IAF, são adequados para a estimação do PARa e para a análise de crescimento da biomassa aérea baseada no uso da radiação, mas são diferentes para a fase de estabelecimento e para os rebrotos.
- O modelo encontrado assume um crescimento quadrático no período compreendido entre a emergência das plantas e primeiro corte, e linear para os rebrotos.
- Em condições não limitantes, a eficiência de utilização da radiação (EUR), que expressa o máximo potencial de crescimento da aveia preta cultivar IAPAR 61, foi de 1,84 g de MS/MJ de PAR absorvida para o período entre a emergência das plantas e primeiro corte, de 3,06 g entre este e o segundo corte, e de 1,86 g deste até o 3º corte.
- Houve uma significativa resposta da aveia preta cultivar IAPAR 61 a doses de nitrogênio para produtividade de forragem. O nitrogênio modificou todas as características morfogênicas avaliadas: índice de área foliar (IAF), perfilhamento, relação lâmina foliar:colmo, comprimento foliar, taxas de alongação foliar e de senescência.
- As taxas de acúmulo de MS/ha tiveram alta correlação com a evolução do IAF.
- A evolução do IAF nos dois primeiros acúmulos deveu-se tanto ao incremento do perfilhamento quanto do comprimento foliar, porém no terceiro corte a evolução deveu-se quase que exclusivamente à expansão foliar.

- O filocrono da aveia preta cultivar IAPAR 61 foi de aproximadamente 80 GD independentemente da dose de nitrogênio utilizada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os modelos podem e devem ser aprimorados com a validação em diferentes condições edafoclimáticas. Um possível aperfeiçoamento futuro poderia enfatizar o efeito de restrições ao desenvolvimento das plantas (água, nutrientes, manejo) na produtividade.
- Os resultados indicam a necessidade de maiores estudos sobre o efeito do IAF residual e de sua eficiência fotossintética sobre o crescimento no rebrote.
- O estudo do desenvolvimento do sistema radicular e o acréscimo da matéria seca deste nos modelos; o estudo das temperaturas de base (T_b) para diferentes cultivares e do efeito de dias com diferentes intensidades luminosas e/ou nebulosidade poderia auxiliar no refinamento de modelos preditivos do acúmulo forragem.
- A taxa de aparecimento de folhas é função principalmente da temperatura (acúmulo de graus-dia), parecendo haver pequena influência das doses de nitrogênio, fato que poderia ser melhor estudado.
- Observou-se que o incremento das doses de nitrogênio tem uma tendência de antecipar a elevação do meristema, podendo ter implicações em relação ao manejo, devendo, portanto, ser objeto de pesquisas complementares.
- O uso de modelos, mesmo que não expliquem a totalidade dos complexos eventos biológicos relacionados à produção vegetal, tem um elevado potencial como instrumento auxiliar na organização de estratégias de pesquisa e na interpretação de resultados de experimentos. Por exemplo, o modelo de acúmulo de matéria seca de aveia em função da temperatura e da radiação permite fazer inferências sobre a produtividade potencial desta cultura em diferentes locais, o que por sua vez, possibilita uma interpretação agrônômica das produtividades que venham a ser obtidas, tanto em ensaios quanto em propriedades agrícolas. Essa interpretação agrônômica pode vir a permitir ajustes visando o aumento de produtividade e um melhor planejamento da utilização desta cultura.

7 REFERÊNCIAS

AGREN, G. I. Theory for the growth of plants derived from the nitrogen productivity concept. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 64, p. 17-24, 1985.

ALMEIDA, E. X.; SETELICH, E. A.; MARASCHIN, G.E. Oferta de forragem e variáveis morfogênicas em capim elefante anão cv. Mott. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: SBZ, 1997. p. 240-242.

ANTONIAZZI, N.; PERIM, J.R. Ensaio nacional de aveias forrageiras em Entre-Rios – Guarapuava / PR. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 21, 2001, Lages. **Anais...** Lages: UDESC, 2001. p. 197-198.

AWAD, M.; CASTRO, P. R. C. **Introdução a fisiologia vegetal**. São Paulo: Nobel, 1983. 177 p.

BARNI, N. A. **Modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento do girassol em função da radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica**. Porto Alegre, 1994. 249 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Fitotecnia, Agrometeorologia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BIRCHAM J. S.; HODGSON J. The influence of sward conditions on rate of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 38, p. 323-331, 1983.

BISCOE, P. V.; GALLAGHER, J. N. Weather, dry matter, production and yield. In: 1^o ENVIRONMENTAL EFFECTS ON CROP PHYSIOLOGY. **Proceedings Symposium**. Long Ashton, England, 1977. p. 75-100.

BLACK, J. L.; DAVIES, G. T. ; FLEMING, J. F. Role of computer simulation in the application of knowledge to animal industries. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 44, p. 541-555, 1993.

BONHOMME, R.; VARLET-GRANCHER, C. Applications aux couverts végétaux des lois de rayonnement en milieu diffusant: I - Etablissement des lois et vérifications expérimentales. **Annales Agronomiques (Paris)**, v. 28, p. 567-582, 1977.

BRISKE, D. D. Developmental morphology and physiology of grasses. In: HEITSCHMIDT, R.K., STUTH, J.W. (Ed.). **Grazing management: An ecological perspective**. Oregon: Timber Press, 1991. p. 85-108.

BROUGHAM, R. M. Effects of intensity of defoliation on regrowth of pastures. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 7, p. 377-387, 1956.

CAMPBELL, G. S. Derivation of an angle density function for canopies with ellipsoidal leaf angle distributions. **Agricultural and Forestry Meteorology**, Amsterdam, v. 49, p. 173-176, 1990.

CAMPBELL, G. S. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. **Agricultural and Forestry Meteorology**, Amsterdam, v. 36, p. 317-321, 1986.

CANGIANO, C. A. Nocións de sistemas, modelos y simulación en la investigación. In: CANGIANO (Ed.) **Conpast 3.0 – Programa de computación para la estimación del consumo de bovinos en pastoreo**. Buenos Aires: INTA, 1999. p. 1-20.

CHAPMAN, D. F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Austrália. **Proceedings**. [S.l.: s. n.], 1993. p. 95-104.

CORSI, M.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Princípios de fisiologia e morfologia de plantas forrageiras aplicadas no manejo das pastagens. In: PASTAGENS - FUNDAMENTOS DA EXPLORAÇÃO RACIONAL, 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 15-47.

COSTA, J. A. A. **Caracterização ecológica de ecótipos de *Paspalum notatum* Flüge var. *notatum* naturais do Rio Grande do Sul e ajuste de um modelo de estimação do rendimento potencial**. Porto Alegre, 1997. 98 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CRUZ, P.; BOVAL, M. Effect of nitrogen on some morphogenetic traits of temperate and tropical perennial forages. In: LEMAIRE, G. et al. (Ed.) **Grassland Ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 151-168.

DAVIES, A.; THOMAS, H. Rates of leaf and tiller production in young spaced perennial ryegrass plants in relation to soil temperature and solar radiation. **Annals of Botany (London)**, v. 57, p. 591-597, 1983.

DAVIES, A. The regrowth of grass swards. In: JONES, M. B.; LAZEMBY, A. (Ed.). **The physiological basis of production**. London: Chapman and Hall, 1988. p. 85-127.

DAVIES, A. Leaf tissue remaining after cutting and regrowth in perennial ryegrass. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 82, p. 165-172, 1974.

DENARDIN, R. B. N. **Avaliações morfogênicas e agrônômicas de gramíneas hibernais, nativas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2001. 215 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DURAND, J. L.; VARLET-GRANCHER, C.; LEMAIRE, G.; GASTAL, F.; MOUILIA, B. Carbon partitioning in forage crops. **Acta Biotheoretica**, Dordrecht, v. 39, p. 213-224, 1991.

DURU, M.; DUCROCQ, H. Growth and senescence of the successive grass leaves o a tiller ontogenic development and effect of temperature. **Annals of Botany (London)**, v. 85, p. 635-643, 2000.

EGGERS, L. **Morfogênese e desfolhação de *Paspalum notatum* Fl. E *Coelorhachis selloana* (Hack.) Camus em diferentes níveis de oferta de forragem.** Porto Alegre, 1999. 148 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná.** Curitiba, EMBRAPA-SNLCS/SUDE-SUL/IAPAR, 1984. 2 v. 256p. (Boletim técnico, n. 27).

ETTER A.G. How Kentucky bluegrass growth. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, St. Louis, v. 38, p. 293-375, 1951.

FAVORETTO, V. Adaptação de Plantas Forrageiras ao Pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2., 1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, 1993. p. 130-165.

FERRAGINE, M. D. C.; MONTEIRO F. A.; SILVA, S. C. Leaf appearance rate in *Brachiaria decumbens* grown in nitrogen and potassium rates. In: International Grassland Congress, 19., 2001, **Proceedings...**[S.I.]: International Grassland Association, 2001. Session 1, p.69-70.

FERRAZ, E. C. Ecofisiologia do arroz. In: CASTRO, R. C., FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola.** Piracicaba: Potafós, 1987. p. 185-202.

FRANÇA, S.; ROSA, L. M.; BERGAMASCHI, H.; NABINGER, C.; SPANNENBERGERG, P. Radiação fotossinteticamente ativa e sua relação com a radiação solar global em dossel de alfafa em função do índice de área foliar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia – SBA**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 147-153, 1997.

FRANK, A. B.; HOFMAN, L. Light quality and stem numbers in cool-season forage grasses. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 468-473, 1994.

FULKERSON, W. J.; SLACK, K. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*. 1. Effect of water-soluble carbohydrates and senescence. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 49, p. 373-377, 1994.

GALLAGHER, J. N.; BISCOE, P. V. Radiation absorption, growth and yield of cereals. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 91, p. 47-60, 1978.

GASTAL, F.; BELANGER, G.; LEMAIRE, G. A model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. **Annals of Botany (London)**, v. 70, p. 437-442, 1992.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. Study of a tall fescue sward grown under nitrogen deficiency conditions. In: XII TH MEETING OF THE EUROPEAN GRASSLAND FEDERATION, 12., 1988, Dublin. **Proceedings.** Belclare: Irish Grassland Association, 1988. p. 323-327.

GASTAL, F.; NELSON, C. J. Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. **Plant Physiology**, v. 105, p. 191-197, 1994.

GEORGE, J. R.; RHYKERD, C. L.; NOLLER, C. H.; DILLON, J. E.; BURNS, J. C. Effect of N fertilization on dry matter yield, total N, N recovery, and nitrate-N concentration of three cool-season forage grass species. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, p. 211-216, 1973.

GILLET, M.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G. Essai d'élaboration d'un schéma global de croissance des graminées fourragères. **Agronomie (Paris)**, v. 4, p. 75-82, 1984.

GOMIDE, C. A. M. **Morfogênese e análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* (Jack.)**. Viçosa, 1997. 53 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa.

GOMIDE, J. A. Morfogênese e análise de crescimento de gramíneas tropicais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, I, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1997. p. 411-430.

GOMIDE, J. A. Fisiologia do Crescimento Livre de Plantas Forrageiras. In: PASTAGENS – FUNDAMENTOS DA EXPLORAÇÃO RACIONAL, 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 1-14.

GONÇALVES, J. O. N. Nitrogênio e produção de matéria seca do azevém. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 14, p. 47-51, 1979.

GOSSE, G.; CHARTIER, M.; LEMAIRE, G. Mise au point d'un modele de prevision de production pour une culture de luzerne. **CR. Acad. Sc. Paris**, Paris, t. 298, série III, v. 18, p. 541-544, 1984.

GRANT, S. A.; BARTHAM, G. T.; TORVELL, L.; KING, J.; ELSTON, A. Comparison of herbage production under continuous stocking and intermittent grazing. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 43, p. 29-39, 1988.

GRECO, F. R. C.; MAZZANTI, A.; ECHEVERRIA, H. E. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento de forraje de un pastizal natural de la Pampa Deprimida. **Revista Argentina de Produccion Animal**, Buenos Aires, v. 15, n. 1, p. 173-176, 1995.

GREENWOOD, D. J.; GASTAL, F.; LEMAIRE, G.; DRAYCOTT, A.; MILLARD, P.; NEETSON, J. J. Growth rate %N of field grown crops: theory and experiments. **Annals of Botany (London)**, v. 67, p. 181-190, 1991.

GREENWOOD, D. J.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCOTT, A.; NEETSON, J. J. Decline in percentage N of C₃ and C₄ crops with increasing plant mass. **Annals of Botany (London)**, v. 66, p. 425-436, 1990.

GREENWOOD, D. J.; NEETSON, J. J.; DRAYCOTT, A. Quantitative relationships for the dependence of growth rate of arable crops on their nitrogen content, dry weight and aerial environment. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 91, p. 281-301, 1986.

HAY, R. K. M.; KEMP, D. R. Primordium initiation at the stem apex as the primary event controlling plant development: preliminary evidence from wheat for the regulation of leaf development. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 13, p. 1005-1008, 1990.

- HODGSON, J. **Grazing management – science into practice.** Essex: Longman Scientific & Technical. J. Hodgson, 1990. 203 p.
- IAPAR **Cartas climáticas do Estado do Paraná 1994.** Londrina: IAPAR, 1994. 49 p.
- INGESTAD, T. Nutrition and growth of birch and grey alder seedlings in low conductivity solutions and at the varied relative rates of nutrient addition. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 45, p. 385-405, 1963.
- KINIRY, J. R.; JONES, C. A.; O'TOOLE, J. C.; BLANCHET, R.; CABELGUENNE, M.; SPANEL, D. A. Radiation – use efficiency in biomass accumulation prior to grain – filling for five grain – crop species. **Field crops Research**, v. 20, p. 51-64, 1989.
- KIRBY, E. J. M. Co-ordination of leaf emergence and leaf and spikelet primordium initiation in wheat. **Field Crops Research**, v. 25, p. 253-264, 1990.
- KLEPPER, B.; RICKMAN, R. W.; PETERSON, C. M. Quantitative characterization of vegetative development in small cereal grains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 789- 792, 1982.
- LANGER, R. H. M. **How grasses grow.** London: R.H.M Langer, 1972. 61 p.
- LATTANZI, F.; MARINO, M. A. Fertilizer nitrogen and morphogenetic responses in *Avena sativa* and *Lolium multiflorum*. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS., 18., 1997, Winnipeg, Saskatoon. **Proceeding.** [S.l.]: International Grassland Association, 1997. Session 7. p. 3-4.
- LEMAIRE, G. Sward dynamics under different management programmes. In: MEETING OF THE EUROPEAN GRASSLAND FEDERATION, 12., DUBLIN, 1988. **Proceedings.** Belclare: Irish Grassland Association, 1988. p. 7-22.
- LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Leaf tissue tun-over and efficiency of herbage utilisation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM GRASSLAND ECOPHYSIOLOGY AND GRAZING ECOLOGY, 1999, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1999. p. 165-186.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Ed.). **The ecology and management of grazing systems.** Guildford: CAB International, 1996. p. 3-36.
- LEMAIRE, G.; CULLETON, N. Effects of nitrogen applied after the last cut in autumn on a tall fescue sward. 2. Uptake and recycling of nitrogen in the sward during winter. **Agronomie (Paris)**, v. 9, p. 241-249, 1989.
- LEMAIRE, G.; GASTAL, F.; PLÉNET, D. Dynamics of N uptake and N distribution in plant canopies: use of crop N status index in crop modelling. In: LEMAIER, G.; BURNS, I.G. (Ed.). **Diagnostic procedures for crop N management.** Paris: INRA, 1997. p. 15-30.
- LEMAIRE, G.; ONILLON, B.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; ALLIRAND, J. M. Nitrogen distribution within a Lucerne canopy during regrowth: relation with light distribution. **Annals of Botany (London)**, v. 68, p. 483-488, 1991.

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères: I – Etude de l'effecte du milieu. **Agronomie (Paris)**, v. 4, p. 423-430, 1984.

LUCCHESI, A. A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFÓS, 1987. p. 1-10.

LUPATINI, G. C.; RESTLE, J.; CERETA, M.; MOOJEN, E. L.; BARTZ, H. R. Avaliação da mistura de aveia preta e azevém sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 11, p. 1939-1943, 1998

MANHER, M.; BUNGE, A. **Foudations of biophilosofy**. Berlin: Springer, 1997. 123 p.

MARINO, M. A.; MAZZANTI, A.; ECHEVERRÍA, H. E. Fertilización nitrogenada de cultivos forrajeros anuales de invierno en el sudeste Bonarense: 1. Crecimiento y acumulation de forraje. **Revista Argentina de Produccion Animal**, Buenos Aires, v. 15, n. 1, p. 179-182, 1996.

MATZENBACHER, R. G. Ensaio nacional de aveias forrageiras em Cruz Alta, RS, em 2000. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 21, 2001, Lages. **Anais...** Lages: UDESC, 2001. p. 197-198.

MAZZANTI, A.; LEMAIER, G. Effect of nitrogen fertilisation on the herbage production of tall fescue swards grazed continuously with sheep: 2. Consumption and efficiency of herbage utilisation. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 49, p. 352-359, 1994.

MAZZANTI, A.; MARINO, M. A.; ECHEVERRIA, H. E.; ANDRADE, F. Fertilizacion nitrogenada de cultivos forrajeros invernales. 1. Acumulación de forrage. **Revista Argentina de Produccion Animal**, Buenos Aires, v. 16, p. 248-249, 1996.

Mc ADAM, J. W.; VOLENEC, J. J.; NELSON, C. J. Effects of nitrogen on mesophyll cell division and epidermal cell elongation in tall fescue leaf blades. **Plant Physiology**, v. 89, p. 549-556, 1989.

MICROSOF EXCEL 2000. Microsof Corporation, 1993 – 2000.

MONSI, M.; SAEKI, T. Über den Lichtfaktor in den Planengesellschaften und seiner Bedeutung für die Stoffproduction. **Japanese Journal of Botany**, Tokyo, v. 14, p. 22-52, 1953.

MORALES, A. S.; NABINGER, C.; MARASCHIN, G. E.; ROSA, L. M. G. Efeito da disponibilidade hídrica sobre a morfogênese e a repartição de assimilados em *L. corniculatus* L. cv. São Gabriel. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: SBZ, 1997. p. 124-126.

NABINGER, C.; PONTES, L. S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: A PRODUÇÃO ANIMAL NA VISÃO DOS BRASILEIROS, REUNIÃO ANUAL

DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38. 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 755-771.

NABINGER, C. Eficiência do uso de pastagens: disponibilidade e perdas de forragem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais.** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 213-251.

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 13, 1996, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1996. p. 15-95.

NEUTEBOOM, J. H.; LANTING, E. A. Tillering potential and relationship between leaf and tiller production in perennial ryegrass. **Annals of Botany (London)**, v. 62, p. 265-270, 1989.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal.** São Paulo: Ed. Ceres, 1981. 440 p.

PANDOLFO, C. **Utilização da radiação solar e da temperatura do ar como variáveis de predição do rendimento de forragem de alfafa (*Medicago sativa* L.).** Porto Alegre, 1995. 130 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Zootecnia, Plantas Forrageiras e Agrometeorologia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PANDOLFO, C.; BERGAMASCHI, H.; NABINGER, C. Montagem de células de silício amorfo para medição de radiação fotossinteticamente ativa (PAR 400-700 nm). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8, 1993, Porto Alegre. **Resumos.** Porto Alegre: UFRGS, 1993. p. 94.

PARSONS, A. J.; ROBSON, M. J. Seasonal changes in the physiology of S24 perennial ryegrass: 2. Potential leaf extension to temperature during the transition from vegetative to reproductive growth. **Annals of Botany (London)**, v. 46, p. 435-444, 1980.

PARSONS, A. J.; PENNING, P. D. The effect of the duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and the average rate of growth in a rotationally grazed sward. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 43, n. 1, p. 15-27, 1988.

PEACOCK, J. M. Temperature and leaf growth in *Lolium perenne*: I. The Thermal microclimate: its measurement and relation to plant growth. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 12, p. 115-123, 1975.

PEARSE, P. J.; WILMAN, D. Effects of applied nitrogen on grass leaf initiation, development and death in field swards. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 103, p. 405-413, 1984.

PEDREIRA, C. G. S.; NUSSIO, L. G.; SILVA, S. C. Condições Edafo-climáticas para Produção de *Cynodon* spp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 85-113.

PEGORARO, D. G.; ROSINHA, R. C.; SARTORI, J. F.; CARDOSO, D. N.; BROLO, J. Ensaio preliminar de aveia preta para forragem em Passo Fundo-RS, 2000. In:

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 21, 2001, Lages. **Anais...** Lages: UDESC, 2001. p. 185-187.

PONTES, L. S. **Dinâmica de crescimento em pastagens de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) manejadas em diferentes alturas.** Porto Alegre, 2000. 102 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RUSSEL, G.; MONTEITH, J. L.; JARVIS, P. G. Absortion of radiation by canopies and stand growth. In: RUSSEL, G.; MARSHAL, B.; JARVIS, P. G. (Ed.). **Plant Canopies: their growth, form and function.** Cambridge: University Press, 1989. p. 21-38.

SÁ, J. P. G. **Utilização da aveia na alimentação animal.** Londrina: IAPAR, 1995. 20 p. (Circular Técnica, n. 87).

SALETTE, J.; HUCHÉ, L.; LEMAIRE, G. Modeling nitrogen and mineral nutrient uptake by a grass sward: short term studies during the sward growth. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 16., 1989, Nice. **Proceedings.** Nice: INRA, 1989. p. 61-62.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology.** 4. ed. Califórnia: Wadsworth, 1991. 682 p.

SAS. **Statistical analysis systems introductory guide for personal computers.** Cary: Statistical Analysis Systems Institute, 1988. 111 p.

SILVA, M. G. Modelos agropecuários: enfoque de sistemas en la investigacion ganadera. Santiago: IICA, 1980. 80 p.

SILVA, S. C.; PEDREIRA, C. G. S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. **Anais.** Jaboticabal: Unesp, 1997. p. 1-62.

SIMON, J. C.; LEMAIRE, G. Tillering and leaf area index in grasses in the vegetative phase. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 42, p. 373-380, 1987.

SINCLAIR, T. R. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation – review and interpretation. **Crop Science**, Madison, v. 38, p. 638-643, 1998.

SKINNER, R. H.; NELSON, C. J. Elongation of the grass leaf and its relationship to the phyllochron. **Crop Science**, Madison, v. 35, p. 4-10, 1995.

SKINNER, R. H.; NELSON, C. J. Epidermal cell division and the coordination of leaf and tiller development. **Annals of Botany (London)**, v. 74, p. 9-15, 1994.

SONEGO, M.; JAMIESON, P. D.; MOOT, D. J.; MARTIN, R. J. Development and growth of oat leaves at different temperatures and nitrogen levels. **Agronomy New Zeland**, v. 29, p. 75-81, 1999.

SPANNENBERG, P. R. O. **Modelo de estimativa do rendimento de forragem de *Desmodium incanum* (Sw.) DC. em função da radiação solar e da temperatura.**

- Porto Alegre, 1997. 93 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- STATISTICA for Windows [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, StatSoft, Inc. (1995).
- STODDART, J. L.; THOMAS, H.; LLOYD, E. J.; POLLOCK, C. J. The use of a temperature-profiled position transducer for the study of low-temperature growth in *Gramineae*. **Planta**, v. 167, p. 359-363, 1986.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, 1985. 188 p. (Boletim técnico de solos, n. 5).
- THOMAS, H.; STODDART, J. L. Leaf senescence. **Annual Review of plant Physiology**, Palo Alto, v. 31, p. 83-111, 1980.
- VALENTINE, I.; MATTHEW, C. Plant growth, development and yield. In: WHITE, J.; HODGSON, J. (Ed.). **New Zealand: pasture and crop science**. Oxford: Oxford, 1999. p. 11-27.
- VARLET-GRANCHER, C.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; SINOQUET, H.; BONHOMME, R.; ALLIRAND, J. M. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie (Paris)**, v. 9, p. 599-607, 1989.
- VIÉGAS, J. **Análise do desenvolvimento foliar e ajuste de um modelo de previsão do rendimento potencial de matéria seca de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.** Porto Alegre, 1998. 154 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VILELA, H. **Análise de crescimento e valor nutritivo da aveia forrageira (*Avena bizantina* L.)**. Viçosa, 1975. 105 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa.
- WARREN, W. J. Analysis of growth, photosynthesis and light interception for single plants and stands. **Annals of Botany (London)**, v. 48, p. 507-512, 1981.
- WHITEHEAD, D. C. **Grassland Nitrogen**. Wallingford: CAB International, 1995. 397 p.
- WILLIAMS, R. D. Assimilation and translocation in perennial grasses. **Annals of Botany (London)**, v. 28, n. 111, p. 419-429, 1964.
- WILMAN, D.; MARTINS, V. M. M. Senescence and death of herbage during periods of regrowth in ryegrass and red and white clover, and the effect of applied nitrogen. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 14, p. 615-620, 1977.
- WILMAN, D.; MOHAMED, A. A. Early spring and late autumn response to applied nitrogen in four grasses. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 94, p. 443-453, 1980.

WOLFE, D. W.; HENDERSON, D. W.; HSIAO, T. C.; ALVINO, A. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. 1. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 859-864, 1988.

YOSHIDA, S. Physiological aspects of grain yield. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 23, p. 437-64, 1972.

ZIMMER, A. H.; EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M. Manejo de plantas do Gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 9., 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1988. p. 142-183.

ZIMMER, A. H.; CORREIA, E. S. A pecuária nacional, uma pecuária de pasto? In: ENCONTRO SOBRE RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS, 1, 1993, Nova Odessa. **Anais...** Nova Odessa: IZ, 1993. p. 1-26.

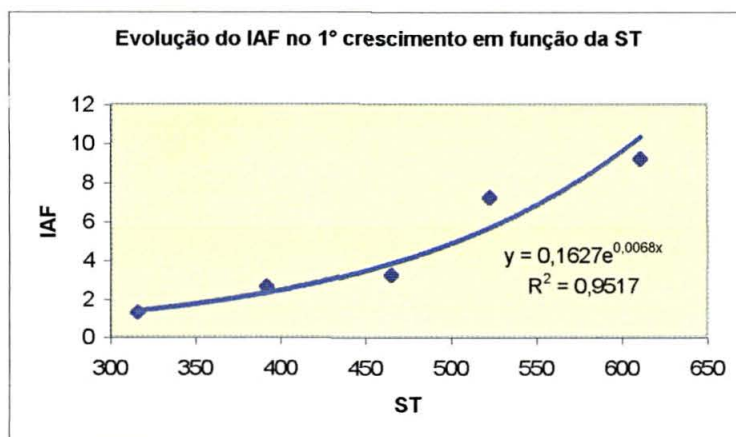
Anexo 1. Dados climáticos (T. Max. – temperatura máxima (°C); T. Min. – temperatura mínima (°C) e radiação solar (MJ/m².dia)) durante a condução do ensaio e equivalência entre calendários Juliano e Romano.

DATA	Dia Juliano	T. Max.	T. Min.	Radiação Solar	DATA	Dia Juliano	T. Max.	T. Min.	Radiação Solar	DATA	Dia Juliano	T. Max.	T. Min.	Radiação Solar
26/4	116	15,6	17,2	17,19	24/6	175	13,2	9,6	9,59	22/8	234	16,5	16,2	16,23
27/4	117	14,8	8,7	8,68	25/6	176	14,1	9,8	9,81	23/8	235	18,7	17,3	17,32
28/4	118	14,5	8,1	8,09	26/6	177	16,0	9,8	9,75	24/8	236	15,0	14,1	14,11
29/4	119	15,3	8,5	8,54	27/6	178	14,7	8,7	8,74	25/8	237	14,1	17,0	17,01
30/4	120	17,1	13,1	13,12	28/6	179	15,6	12,5	12,51	26/8	238	16,7	16,4	16,43
1/5	121	16,1	8,4	8,41	29/6	180	16,9	12,8	12,75	27/8	239	18,4	14,9	14,94
2/5	122	15,8	14,3	14,33	30/6	181	16,1	4,9		28/8	240	15,6	12,6	12,65
3/5	123	16,8	14,3	14,29	1/7	182	9,7	13,2	13,22	29/8	241	15,4	8,2	8,22
4/5	124	17,2	15,3	15,28	2/7	183	9,7	10,6	10,65	30/8	242	17,6	16,0	15,98
5/5	125	18,9	14,1	14,15	3/7	184	11,8	4,6	4,56	31/8	243	18,3	15,0	15,04
6/5	126	18,3	10,3	10,34	4/7	185	15,4	7,7	7,71	1/9	244	21,7	16,1	16,15
7/5	127	16,8	1,9	1,92	5/7	186	10,9	1,4	1,44	2/9	245	23,0	16,8	16,85
8/5	128	16,3	15,0	14,98	6/7	187	7,8	2,1	2,08	3/9	246	22,0	17,5	17,46
9/5	129	13,2	14,2	14,19	7/7	188	10,4	4,1	4,06	4/9	247	19,5	17,8	17,85
10/5	130	13,4	9,7	9,72	8/7	189	12,9	2,2	2,20	5/9	248	17,9	14,8	14,79
11/5	131	14,9	12,2	12,16	9/7	190	12,2	10,1	10,06	6/9	249	17,1	14,8	14,79
12/5	132	16,2	12,6	12,60	10/7	191	11,5	10,3	10,29	7/9	250	19,4	13,3	13,32
13/5	133	15,4	13,1	13,12	11/7	192	12,3	7,6	7,64	8/9	251	23,1	14,0	13,97
14/5	134	12,0	10,2	10,16	12/7	193	12,1	8,0	7,96	9/9	252	22,7	10,8	10,83
15/5	135	10,5	5,6	5,59	13/7	194	12,1	9,5	9,53	10/9	253	13,5	2,7	2,70
16/5	136	12,3	8,7	8,74	14/7	195	11,3	11,9	11,90	11/9	254	9,7	3,7	3,72
17/5	137	13,5	12,8	12,75	15/7	196	13,7	10,9	10,94	12/9	255	10,3	3,3	3,27
18/5	138	14,1	12,4	12,45	16/7	197	15,0	11,9	11,88	13/9	256	13,4	8,8	8,78
19/5	139	14,7	10,8	10,80	17/7	198	16,8	11,8	11,78	14/9	257	15,7	14,4	14,43
20/5	140	13,9	12,0	11,96	18/7	199	15,3	11,1	11,06	15/9	258	14,8	4,3	4,30
21/5	141	7,7	10,7	10,69	19/7	200	11,3	4,4	4,44	16/9	259	15,2	12,0	12,00
22/5	142	8,9	14,1	14,12	20/7	201	14,0	6,4	6,36	17/9	260	12,0	16,0	15,96
23/5	143	8,2	14,3	14,30	21/7	202	17,2	11,6	11,59	18/9	261	12,1	21,7	21,74
24/5	144	10,6	14,0	14,04	22/7	203	14,6	14,1	14,11	19/9	262	14,6	18,5	18,53
25/5	145	11,1	9,5	9,52	23/7	204	10,6	5,3	5,25	20/9	263	15,4	16,2	16,20
26/5	146	12,2	4,9	4,87	24/7	205	11,6	4,4	4,38	21/9	264	14,3	17,9	17,92
27/5	147	15,9	7,9	7,92	25/7	206	14,5	11,0	11,00	22/9	265	16,3	20,8	20,81
28/5	148	17,6	8,4	8,38	26/7	207	15,9	14,0	14,01	23/9	266	12,2	5,9	5,87
29/5	149	13,8	5,0	4,96	27/7	208	16,7	13,3	13,27	24/9	267	10,0	12,0	12,01
30/5	150	15,5	3,0	2,99	28/7	209	17,2	10,6	10,64	25/9	268	10,0	11,8	11,85
31/5	151	9,0	12,5	12,51	29/7	210	12,5	3,3	3,28	26/9	269	12,0	19,5	19,47
1/6	152	7,3	13,9	13,93	30/7	211	14,4	11,2	11,21	27/9	270	16,0	21,3	21,33
2/6	153	8,5	11,3	11,29	31/7	212	16,5	12,1	12,09	28/9	271	13,9	20,7	20,70
3/6	154	9,3	10,1	10,09	1/8	213	8,5	9,8	9,75	29/9	272	17,3	18,0	17,97

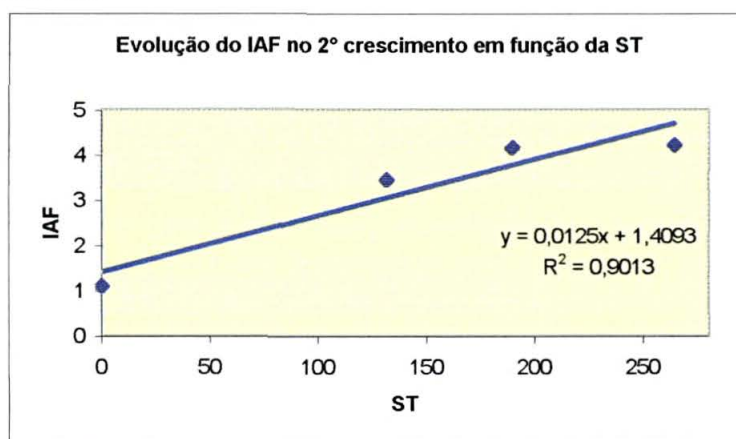
Anexo 1. Dados climáticos (T. Max. – temperatura máxima (°C); T. Min. – temperatura mínima (°C) e radiação solar (MJ/m².dia)) durante a condução do ensaio e equivalência entre calendários Juliano e Romano - continuação.

DATA	Dia Juliano	T. Max.	T. Min.	Radiação Solar	DATA	Dia Juliano	T. Max.	T. Min.	Radiação Solar	DATA	Dia Juliano	T. Max.	T. Min.	Radiação Solar
4/6	155	13,4	10,0	10,00	2/8	214	10,5	13,3	13,30	30/9	273	15,3	4,5	4,51
5/6	156	11,2	3,1	3,07	3/8	215	12,1	12,9	12,86	1/10	274	13,2	10,5	10,50
6/6	157	9,4	2,5	2,53	4/8	216	11,0	15,4	15,35	2/10	275	21,0	18,6	18,63
7/6	158	8,5	2,9	2,94	5/8	217	10,8	14,2	14,18	3/10	276	13,2	2,6	2,60
8/6	159	8,9	4,4	4,41	6/8	218	13,5	12,9	12,87	4/10	277	7,7	4,2	4,23
9/6	160	12,6	7,0	6,95	7/8	219	16,0	14,0	14,02	5/10	278	8,0	4,9	4,88
10/6	161	15,5	5,8	5,85	8/8	220	16,7	8,7	8,72	6/10	279	11,2	11,0	11,03
11/6	162	15,1	8,8	8,82	9/8	221	9,9	11,9	11,92	7/10	280	12,6	7,9	7,93
12/6	163	10,3	13,6	13,56	10/8	222	11,7	12,0	11,96	8/10	281	13,2	5,4	5,36
13/6	164	11,7	7,6	7,64	11/8	223	16,0	16,0	16,00	9/10	282	17,5	18,5	18,50
14/6	165	11,3	6,0	5,99	12/8	224	17,6	15,7	15,69	10/10	283	14,9	24,1	24,14
15/6	166	10,2	1,7	1,74	13/8	225	18,0	15,1	15,12	11/10	284	12,6	14,6	14,63
16/6	167	11,6	5,4	5,37	14/8	226	15,7	8,2	8,19	12/10	285	11,8	12,0	12,03
17/6	168	12,4	9,3	9,28	15/8	227	6,7	3,6	3,62	13/10	286	13,7	10,7	10,74
18/6	169	12,6	11,0	11,02	16/8	228	3,4	11,7	11,69	14/10	287	18,0	19,1	19,11
19/6	170	12,5	2,5	2,52	17/8	229	6,5	4,8	4,84	15/10	288	17,7	17,4	17,39
20/6	171	11,6	2,1	2,11	18/8	230	8,9	7,1	7,06	16/10	289	19,5	12,6	12,57
21/6	172	11,7	2,5	2,45	19/8	231	11,3	10,0	10,02	17/10	290	16,8	1,4	1,35
22/6	173	12,8	5,4	5,40	20/8	232	12,7	15,7	15,66	18/10	291	16,1	7,5	7,47
23/6	174	13,7	10,1	10,09	21/8	233	14,1	16,9	16,93	19/10	292	15,4	17,0	17,04

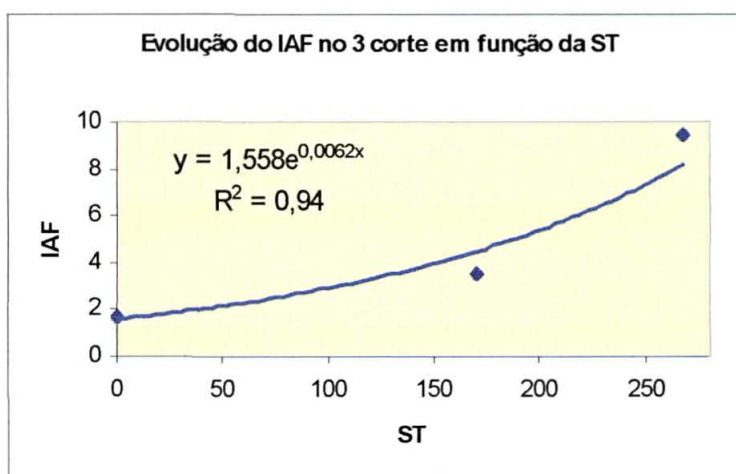
Anexo 2. Evolução do IAF no 1º crescimento (estabelecimento) com a dose de 225 kg de nitrogênio / ha.



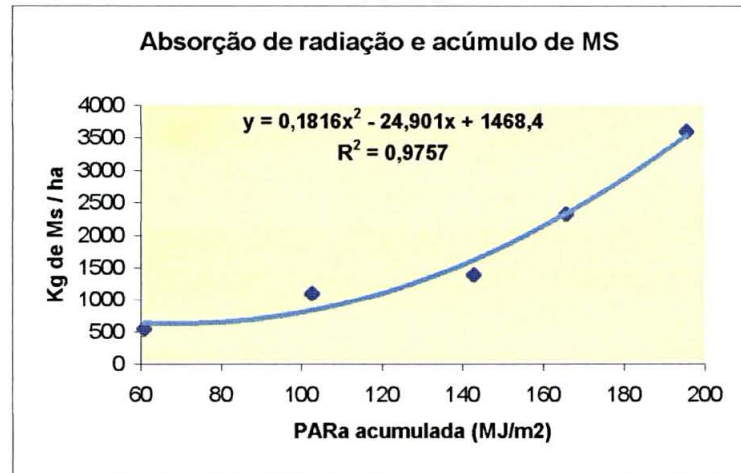
Anexo 3. Evolução do IAF no 2º crescimento (1º rebrota) com a dose de 225 kg de nitrogênio / ha.



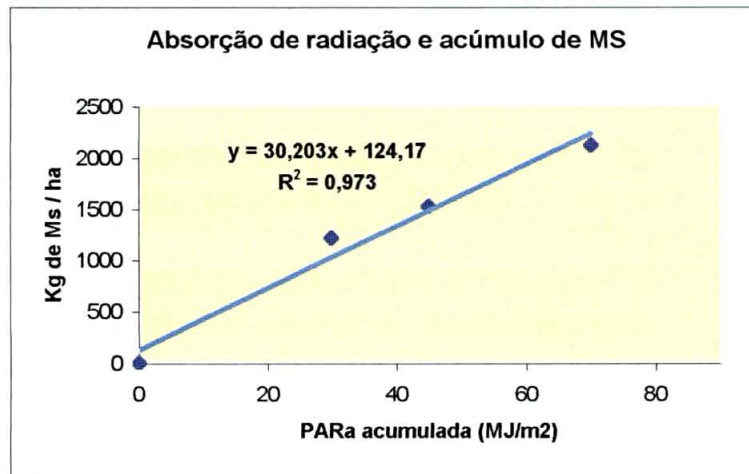
Anexo 4. Evolução do IAF no 3º crescimento (2º rebrota) com a dose de 225 kg de nitrogênio / ha.



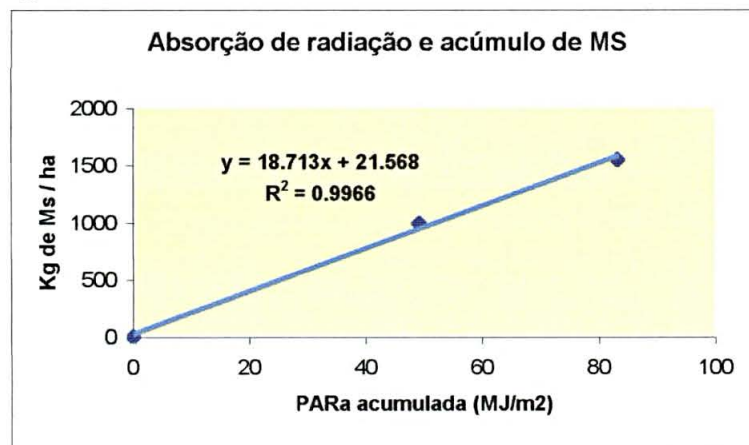
Anexo 5. Evolução da Ea_{est} no 1º crescimento (estabelecimento) com a dose de 225 kg de nitrogênio / ha.



Anexo 6. Evolução da Ea_{1reb} no 2º crescimento (1º rebrota) com a dose de 225 kg de nitrogênio / ha.



Anexo 7. Evolução da Ea_{2reb} no 3º crescimento (2º rebrota) com a dose de 225 kg de nitrogênio / ha.



Anexo 8 – Planilha de cálculo da produção de matéria seca produção de MS de aveia e azevém em função da radiação e dos graus dia acumulados – tela de abertura.



Anexo 9 – Planilha de cálculo da produção de matéria seca produção de MS de aveia e azevém em função da radiação e dos graus dia acumulados – tela de entrada dos dados de radiação e temperatura.

Cálculo do acúmulo de Graus dias e radiação

aj Data de início

Data da plantio
Data da emergência
Data de 1 utilização
Data de 2 utilização
Data de 3 utilização

DIA	MÊS	ANO
19	4	1999
26	4	1999
19	6	1999
17	7	1999
6	8	1999

Dias até a emergência
Dias até a primeira utilização
Dias até a segunda utilização
Dias até a terceira utilização

Temperatura de base

0
55
29
21
0

Voltar

Graus dias acumulados

Radiação total acumulada

1 corte	623	525
2 corte	266	197
3 corte	254	222

Colocar os dados até a data da 1 utilização

Dias	
26/4/99	1
27/4/99	2
28/4/99	3
29/4/99	4
30/4/99	5
1/5/99	6
2/5/99	7
3/5/99	8
4/5/99	9
5/5/99	10
6/5/99	11
7/5/99	12

Temperatura	Radiação	GD acum
max	min	
15,6	17,2	17,166
14,8	8,7	8,690
14,5	9,1	8,093
15,3	9,6	8,538
17,1	13,1	13,122
16,1	8,4	8,410
15,8	14,3	14,332
16,8	14,3	14,292
17,2	15,3	15,262
18,9	14,1	14,148
18,3	10,3	10,336
16,8	1,9	1,922

Dados até a data da 2 utilização (abr/04)

Dias	
20/6/99	1
21/6/99	2
22/6/99	3
23/6/99	4
24/6/99	5
25/6/99	6
26/6/99	7
27/6/99	8
28/6/99	9
29/6/99	10
30/6/99	11
1/7/99	12

Temperatura	Radiação	GD acum
max	min	
11,6	2,1	2,11
11,7	2,5	2,46
12,9	5,4	5,40
13,7	10,1	10,09
13,2	9,6	9,59
14,1	9,8	9,81
16,0	9,8	9,75
14,7	8,7	8,74
15,6	12,5	12,51
16,9	12,8	12,75
16,1	4,9	10,5
9,7	13,2	13,22

Dias	
16/7/99	1
17/7/99	2
18/7/99	3
19/7/99	4
20/7/99	5
21/7/99	6
22/7/99	7
23/7/99	8
24/7/99	9
25/7/99	10
26/7/99	11
27/7/99	12

Anexo 10 – Planilha de cálculo da produção de matéria seca produção de MS de azevém em função da radiação e dos graus dia acumulados.

Modelo de produção de matéria seca em função da radiação e dos graus dias acumulados	
a) Parametros ambientais de radiação e graus dias acumulados	
Soma térmica	609
Soma térmica acumulada até a rebrota	659
Radiação solar global	478
Radiação solar global acumulada até a rebrota	494
% da radiação total = fotossinteticamente ativa	52%
Radiação fotossinteticamente ativa	248
Radiação fotossinteticamente até a rebrota	257
Máxima absorção possível de luz em % (Beta)	90%
b) Equação de evolução do IAF em função dos graus dias	
IAF	5,16
IAF rebrote	10,72
c) Coeficiente de extinção de luz	
	0,75
d) Cálculo da eficiência de absorção de luz em função do IAF	
Eficiência de absorção do estabelecimento	0,881
Eficiência de absorção da rebrota	0,900
e) Radiação fotossinteticamente ativa absorvida em função do IAF calculado	
Par absorvida no estabelecimento (PARest)	218,80
Par absorvida na rebrota (PARreb)	223,40
f) Cálculo do acúmulo de Matéria Seca em função da Par absorvida	
Matéria seca (g de Matéria seca/m ²)est	202,8
Matéria seca (g de Matéria seca/m ²)reb	202,8
Matéria seca (kg de Matéria seca/ha)est	202,8
Matéria seca (kg de Matéria seca/ha)reb	2028,4
g) Cálculo do acúmulo de Matéria Seca da rebrota em função da Par absorvida e do resíduo	
Resíduo (kg/ha)	229,50
MS produzida no rebrote (Kg de Matéria seca/ha)reb	4289,2
Disponibilidade MS (kg de Matéria seca/ha)reb	4518,74

[Voltar](#)

Anexo 11 – Planilha de cálculo da produção de matéria seca de aveia em função da radiação e dos graus dia acumulados.

Modelo de produção de matéria seca em função da radiação e dos graus dias acumulados

Condições não limitantes ao desenvolvimento das plantas

[Voltar](#)

a) Parâmetros ambientais de radiação e graus dias acumulados

Soma térmica até primeiro corte	810,8
Radiação solar global até 1 corte	515,0
Soma térmica acumulada total até 2 corte	293,8
Radiação solar global acumulada total até 2 corte	193,2
Soma térmica acumulada total até 3 corte	267,2
Radiação solar global acumulada até a rebrota (3 corte)	138,9
% da radiação total = fotossinteticamente ativa	4,2%
Máxima absorção possível de luz em % (Beta)	0,904

Planta:

b) Equação de evolução do IAF em função dos graus dias

IAF	10,34
IAF rebrota	4,70
IAF 2 rebrota	8,17

c) Coeficiente de extinção de luz 0,65

d) Cálculo da eficiência de absorção de luz em função de IAF

Eficiência de absorção do estabelecimento	0,903
Eficiência de absorção da 1 rebrota (2 corte)	0,961
Eficiência de absorção da 2 rebrota (3 corte)	0,900

e) Radiação fotossinteticamente ativa absorvida em função do IAF calculado

Par absorvida no estabelecimento (FAR _{est})	195,28
Par absorvida na rebrota (PAR _{ab} 1reb - 2 corte)	69,69
Par absorvida na rebrota (PAR _{ab} 2reb - 3 corte)	51,72

f) Cálculo do acúmulo de Matéria Seca em função da Par absorvida

Matéria seca (kg de Matéria seca/ha)est	3531,0
---	--------

g) Cálculo do acúmulo de Matéria Seca da rebrota em função da Par absorvida e do resíduo

Resíduo (kg/ha)	717,27
MS produzida no rebrota (g de Matéria seca/m ²)reb	2235,1
Disponibilidade MS (kg de Matéria seca/ha)reb	2952,4

h) Cálculo do acúmulo de Matéria Seca da 2 rebrota (3 corte) em função da Par absorvida e do resíduo

Resíduo (kg/ha)	1421,40
MS produzida no rebrota (g de Matéria seca/m ²)reb	989,4
Disponibilidade MS (kg de Matéria seca/ha)reb	2410,8

Gráficos de Evolução do IAF:

- Evolve, ao do IAF no estabelecimento em função da ST:** $y = 0,1877e^{0,0008x}$, $R^2 = 0,9517$
- Evolve, ao do IAF no 2 corte em função da ST:** $y = 0,0125e + 1,4293$, $R^2 = 0,9013$
- Evolve, ao do IAF no 3 corte em função da ST:** $y = 1,550e^{0,0008x}$, $R^2 = 0,94$

Gráficos de Absorção de radiação e acúmulo de MS:

- Estabelecimento:** $y = 8,397e^x - 32,887x - 1482,4$, $R^2 = 0,9757$
- 1ª rebrota:** $y = 36,362x + 174,17$, $R^2 = 0,9871$
- 2ª rebrota:** $y = 18,712x + 21,348$, $R^2 = 0,9966$