MODELO EMPÍRICO, DETERMINÍSTICO E DINÂMICO PARA ESTIMAR O ACÚMULO DE MATÉRIA SECA DO FEIJOEIRO COMUM

HUDSON SANTOS PIMENTA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **ANTÔNIO LUIZ FANCELLI**

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura
“Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo,
para a obtenção do Título de Doutor em Agronomia,
Área de Concentração: Fitotecnia.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Janeiro de 1998

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Pimenta, Hudson Santos

Modelo empírico, determinístico e dinâmico para estimar o acúmulo de matéria seca do feijoeiro comum / Hudson Santos Pimenta. - Piracicaba, 1998.
110 p.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998.
Bibliografia.

1. Análise físico-química 2. Efeito da temperatura (planta) 3. Feijão 4. Fenologia
5. Matéria seca 6. Modelo matemático 7. Solo I. Título

CDD 635.652

MODELO EMPÍRICO, DETERMINÍSTICO E DINÂMICO PARA ESTIMAR O ACÚMULO DE MATÉRIA SECA DO FEIJOEIRO COMUM

HUDSON SANTOS PIMENTA

Aprovado em 13 de abril de 1998.

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Antônio Luiz Fancelli (Orientador)

ESALQ/USP

Prof. Dr. Durval Dourado Neto

ESALQ/USP

Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova

ESALQ/USP

Prof. Dr. Eduardo Antônio Bulisani

IAC

Prof. Dr. Luiz Cláudio Costa

UFV/MG

Prof. Dr. Antônio Luiz Fancelli
Orientador

Nenhuma meta na vida é impossível de ser alcançada
quando se realmente quer atingi-la.

Aos meus pais, Augusto (*In Memoriam*) e
Regina, e a José Monteiro Filho,

DEDICO

À minha esposa, Roseli,
e ao meu filho José Augusto,

OFEREÇO

Em agradecimento ao estímulo, apoio e amor que todos sempre me dedicaram.

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. Antônio Luiz Fancelli pela orientação e apoio; ao Prof. Dr. Durval Dourado Neto pelas sugestões apresentadas, profissionalismo, amizade e respeito que me dedicou durante o curso; à Acadêmica Paula Munhoz Antunes pelo auxílio dispensado; à CERB – Companhia de Engenharia Rural da Bahia; à CIR – Coordenação de Irrigação do Estado da Bahia; ao CNPq – Centro Nacional de Pesquisa; ao Departamento de Agricultura da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo e a todos que colaboraram para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	XII
RESUMO.....	XVIII
SUMMARY	XIX

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Modelagem.....	3
2.1.1. Modelo.....	3
2.1.2. Desenvolvimento relativo da cultura de feijão.....	5
2.1.3. Fenologia da cultura de feijão.....	6
2.2. Nitrogênio.....	6
2.2.1. Recomendação de adubação nitrogenada.....	6
2.2.2. Fertirrigação.....	8
2.2.3. Efeito da adubação nitrogenada via fertirrigação sobre o rendimento.....	10
2.2.4. Lixiviação.....	12
2.2.5. Acidificação e acúmulo de nitrato.....	14
2.3. Água.....	15
2.3.1. Água e rendimento agrícola.....	15
2.3.2. Efeito da irrigação no rendimento da cultura de feijão.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Localização da área experimental.....	17
3.2. Clima.....	17
3.3. Solo.....	17
3.4. Práticas culturais.....	18
3.4.1. Planta.....	18
3.4.2. Preparo do solo, semeadura e controle de plantas daninhas.....	19
3.5. Tratamentos.....	19
3.5.1. Níveis de nitrogênio.....	21
3.5.2. Controle de irrigação.....	22
3.6. Sistema de irrigação.....	24
3.7. Fenologia.....	24
3.8. Duração dos estádios fenológicos e análise de crescimento vegetal.....	24
3.9. Determinações referentes ao solo e à planta.....	25

3.9.1.	Teor de nitrogênio total no solo	25
3.9.2.	Marcha de absorção dos macronutrientes no feijoeiro	25
3.9.3.	Acompanhamento do pH do solo	26
3.10.	<i>Avaliação do sistema de irrigação</i>	26
3.11.	<i>Rendimento de grãos</i>	26
3.12.	<i>Análise de solo</i>	27
3.13.	<i>Análise estatística</i>	27
3.14.	<i>O modelo proposto</i>	28
3.15.	<i>Calibração do modelo</i>	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1.	<i>Controle de irrigação</i>	35
4.2.	<i>Avaliação do sistema de irrigação</i>	36
4.3.	<i>Variação temporal da temperatura durante o ciclo da cultura de feijão</i>	36
4.4.	<i>Desenvolvimento relativo da cultura de feijão</i>	37
4.5.	<i>Determinações referentes ao solo e à planta</i>	41
4.5.1.	Variabilidade espacial e variação temporal dos atributos químicos do solo	41
4.5.2.	Massa de matéria seca de folha	46
4.5.3.	Massa de matéria seca total	47
4.5.4.	Teor dos macronutrientes na parte aérea do feijoeiro	49
4.5.5.	Índice de área foliar	59
4.6.	<i>Métodos de estimativa de rendimento</i>	61
4.6.1.	Método de estimativa de rendimento pela pesagem dos grãos	62
4.6.2.	Método de estimativa de rendimento pela determinação dos componentes de produção de grãos	64
4.7.	<i>Relação funcional entre rendimento, nitrogênio e água</i>	67
4.8.	<i>O modelo do co-seno</i>	70
4.9.	<i>Dados originais</i>	76
4.9.1.	Análise química do solo	76
4.9.2.	Análise química do feijoeiro	76
5.	CONCLUSÕES	77
6.	ANEXOS: DADOS ORIGINAIS	78
6.1.	<i>ANEXO 1: Dados originais referentes à <u>análise química do solo</u> na camada de 0 a 20 cm de profundidade</i>	78
6.2.	<i>ANEXO 2: Dados originais referentes à <u>análise química da haste do feijoeiro</u></i>	85
6.3.	<i>ANEXO 3: Dados originais referentes à <u>análise química da folha do feijoeiro</u></i>	88
6.4.	<i>ANEXO 4: Dados originais referentes à <u>análise química da botão floral do feijoeiro</u></i>	91
6.5.	<i>ANEXO 5: Dados originais referentes à <u>análise química da vagem do feijoeiro</u></i>	92
6.6.	<i>ANEXO 6: Dados originais referentes à <u>análise química dos grãos do feijoeiro</u></i>	94

6.7. ANEXO 7: Dedução do modelo do co-seno referente ao acúmulo da matéria seca total de parte aérea.....	95
6.8. ANEXO 8: Dedução do modelo do co-seno referente ao acúmulo da matéria seca de folha..	97
6.9. ANEXO 9: Fotos relativas à área experimental.....	99
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
APÊNDICE: DADOS CLIMATOLÓGICOS.....	106

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS (TABELA 3).....	19
FIGURA 2. ESQUEMA GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL.	21
FIGURA 3. O MÉTODO CONJUGADO(DOURADO NETO ET AL., 1992) ADAPTADO PARA UTILIZAÇÃO DE DOIS TENSÍÔMETROS.	23
FIGURA 4. MODELO DO CO-SENO, REFERENTE A MASSA RELATIVA DE MATÉRIA SECA TOTAL DE PARTE AÉREA, ESPECIFICANDO OS SETE DIFERENTES CASOS.	30
FIGURA 5. MODELO DO CO-SENO, REFERENTE A MASSA RELATIVA DE MATÉRIA SECA DE FOLHA, ESPECIFICANDO OS DEZ DIFERENTES CASOS.....	30
FIGURA 6. VARIAÇÃO TEMPORAL DO POTENCIAL MÁTRICO DETERMINADO ATRAVÉS DE TENSÍÔMETROS, NAS PARCELAS CENTRAIS DOS BLOCOS I E II, DURANTE O CICLO DA CULTURA.	36
FIGURA 7. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DURANTE O CICLO DA CULTURA COMPREENDIDO ENTRE A EMERGÊNCIA E O PONTO DE MATURIDADE FISIOLÓGICA DA CULTURA (TABELA 9).	37
FIGURA 8. VARIAÇÃO TEMPORAL DO pH DO SOLO, REFERENTE ÀS SETE ÉPOCAS DE COLETA (TABELA 12), DURANTE O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.	42
FIGURA 9. VARIAÇÃO TEMPORAL DO MATÉRIA ORGÂNICA (%) DO SOLO, REFERENTE ÀS SETE ÉPOCAS DE COLETA (TABELA 12), DURANTE O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.	42
FIGURA 10. VARIAÇÃO TEMPORAL DO TEOR DE FÓSFORO ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) DO SOLO, REFERENTE ÀS SETE ÉPOCAS DE COLETA (TABELA 12), DURANTE O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.	43
FIGURA 11. VARIAÇÃO TEMPORAL DO TEOR DE POTÁSSIO ($\text{MEQ}/100\text{cm}^3$) DO SOLO, REFERENTE ÀS SETE ÉPOCAS DE COLETA (TABELA 12), DURANTE O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	43

FIGURA 12. VARIAÇÃO TEMPORAL DO TEOR DE CÁLCIO ($\text{MEQ}/100 \text{ cm}^3$) DO SOLO, REFERENTE ÀS SETE ÉPOCAS DE COLETA (TABELA 12), DURANTE O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	44
FIGURA 13. VARIAÇÃO TEMPORAL DO TEOR DE MAGNÉSIO ($\text{MEQ}/100 \text{ cm}^3$) DO SOLO, REFERENTE ÀS SETE ÉPOCAS DE COLETA (TABELA 12), DURANTE O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	44
FIGURA 14. VARIAÇÃO TEMPORAL DO TEOR DE HIDROGÊNIO E ALUMÍNIO ($\text{MEQ}/100 \text{ cm}^3$) DO SOLO, REFERENTE ÀS SETE ÉPOCAS DE COLETA (TABELA 12), DURANTE O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	45
FIGURA 15. VARIAÇÃO TEMPORAL DE NITROGÊNIO TOTAL (%) DO SOLO, REFERENTE ÀS SETE ÉPOCAS DE COLETA (TABELA 12), DURANTE O PERÍODO DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	45
FIGURA 16. VARIAÇÃO DA MASSA DE MATÉRIA SECA DE FOLHA (G) NOS DIFERENTES TRATAMENTOS, EM FUNÇÃO DO DESENVOLVIMENTO RELATIVO DA CULTURA (PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE OS ESTÁDIOS V3 E R8 – PERÍODO QUE HOUVE DETERMINAÇÃO DE MASSA DE MATÉRIA SECA DE FOLHA) (TABELA 13).	47
FIGURA 17. VARIAÇÃO DA MASSA DE MATÉRIA SECA TOTAL DE PARTE AÉREA (G) NOS DIFERENTES TRATAMENTOS, EM FUNÇÃO DO DESENVOLVIMENTO RELATIVO DA CULTURA (PERÍODO COMPREENDIDO ENTRE OS ESTÁDIOS V3 E R8 – PERÍODO QUE HOUVE DETERMINAÇÃO DE MASSA DE MATÉRIA SECA DE FOLHA) (TABELA 14).	48
FIGURA 18. VARIAÇÃO TEMPORAL DO TEOR MÉDIO DE NITROGÊNIO (N, %) NA FOLHA DO FEIJOEIRO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS ENTRE OS DIAS 10 DE MAIO (16 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA) E 19 DE JULHO DE 1995 (86 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA) (FONTE: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE PLANTAS DO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO, ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO).	49
FIGURA 19. VARIAÇÃO TEMPORAL DO TEOR MÉDIO DE FÓSFORO (P, %) NA FOLHA DO FEIJOEIRO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS ENTRE OS DIAS 10 DE MAIO (16 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA) E 19 DE JULHO DE 1995 (86 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA) (FONTE: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE PLANTAS DO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO,	

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO). 50

FIGURA 20. VARIAÇÃO TEMPORAL DO TEOR MÉDIO DE POTÁSSIO (K, %) NA FOLHA DO FEIJOEIRO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS ENTRE OS DIAS 10 DE MAIO (16 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA) E 19 DE JULHO DE 1995 (86 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA) (FONTE: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE PLANTAS DO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO, ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO). 50

FIGURA 21. VARIAÇÃO TEMPORAL DO TEOR MÉDIO DE CÁLCIO (Ca, %) NA FOLHA DO FEIJOEIRO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS ENTRE OS DIAS 10 DE MAIO (16 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA) E 19 DE JULHO DE 1995 (86 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA) (FONTE: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE PLANTAS DO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO, ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO). 51

FIGURA 22. VARIAÇÃO TEMPORAL DO TEOR MÉDIO DE MAGNÉSIO (Mg, %) NA FOLHA DO FEIJOEIRO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS ENTRE OS DIAS 10 DE MAIO (16 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA) E 19 DE JULHO DE 1995 (86 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA) (FONTE: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE PLANTAS DO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO, ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO). 51

FIGURA 23. VARIAÇÃO TEMPORAL DO TEOR MÉDIO DE ENXOFRE (S, %) NA FOLHA DO FEIJOEIRO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS ENTRE OS DIAS 10 DE MAIO (16 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA) E 19 DE JULHO DE 1995 (86 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA) (FONTE: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE PLANTAS DO DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO, ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO). 52

FIGURA 24. COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES ESTIMADOS DE EXTRAÇÃO TOTAL, REFERENTE À PARTE AÉREA (EXCETO OS GRÃOS), DE NITROGÊNIO, FÓSFORO, POTÁSSIO, CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE. 53

FIGURA 25. COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR CALCULADOS E ESTIMADOS PELO MODELO DO CO-SENO (TABELA 21).....	61
FIGURA 26. ESTIMATIVA DE RENDIMENTO PELA PESAGEM DOS GRÃOS (MÉTODO 1) E PELA DETERMINAÇÃO DOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE GRÃOS (MÉTODO 2).....	62
FIGURA 27. RELAÇÃO FUNCIONAL ENTRE RENDIMENTO (<u>ESTIMADO PELO MÉTODO 1</u>), NITROGÊNIO E ÁGUA (SUPRIMENTO RELATIVO DA DEMANDA EVAPOTRANSPIRATÓRIA) (TABELA 3).....	68
FIGURA 28. RELAÇÃO FUNCIONAL ENTRE RENDIMENTO (<u>ESTIMADO PELO MÉTODO 2</u>), NITROGÊNIO E ÁGUA (SUPRIMENTO RELATIVO DA DEMANDA EVAPOTRANSPIRATÓRIA) (TABELA 3).....	69
FIGURA 29. MODELO DO CO-SENO (TABELA 28) REFERENTE AO ACÚMULO DE MATÉRIA SECA RELATIVA DE FOLHA NOS DIFERENTES TRATAMENTOS (TABELA 3).....	73
FIGURA 30. MODELO DO CO-SENO (TABELA 29) REFERENTE AO ACÚMULO DE MATÉRIA SECA RELATIVA TOTAL NOS DIFERENTES TRATAMENTOS (TABELA 3).....	74
FIGURA 31. MODELO DO CO-SENO (TABELA 30) REFERENTE AO ACÚMULO DE MATÉRIA SECA RELATIVA DE FOLHA REFERENTE AOS DIFERENTES TRATAMENTOS (TABELA 3) CONSIDERADOS EM CONJUNTO.....	74
FIGURA 32. MODELO DO CO-SENO (TABELA 30) REFERENTE AO ACÚMULO DE MATÉRIA SECA RELATIVA TOTAL REFERENTE AOS DIFERENTES TRATAMENTOS (TABELA 3) CONSIDERADOS EM CONJUNTO.....	75
FIGURA 33. IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO EM 18 DE ABRIL DE 1995 (DIA DA SEMEADURA). ÁREA EXPERIMENTAL DO DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, ESALQ, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, EM PIRACICABA, SP.....	99
FIGURA 34. DETALHE DO SISTEMA FIXO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, ESALQ, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, EM PIRACICABA, SP.....	99

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. DESCRIÇÃO DOS ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DO FEIJOEIRO COMUM (<i>PHASEOLUS VULGARIS L.</i>) (FANCELLI, 1992).....	6
TABELA 2. PARÂMETROS EMPÍRICOS REFERENTES ÀS CURVAS DE RETENÇÃO.....	18
TABELA 3. DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS EM CADA BLOCO.	20
TABELA 4. ADUBAÇÃO NITROGENADA (KG.HA^{-1}) EM FUNÇÃO DO ESTÁDIO FENOLÓGICO DA CULTURA.	22
TABELA 5. DETERMINAÇÕES REFERENTES AO SOLO E À PLANTA.....	25
TABELA 6. TÉCNICA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA CONFORME O DELINEAMENTO EMBLOCOS CASUALIZADOS.	28
TABELA 7. ASSUNÇÕES PARA OBTENÇÃO DO MODELO DO CO-SENO REFERENTE AO ACÚMULO DE MASSA RELATIVA DE MATÉRIA SECA TOTAL DE PARTE AÉREA (FIGURA 4 E ANEXO 7).	32
TABELA 8. ASSUNÇÕES PARA OBTENÇÃO DO MODELO DO CO-SENO REFERENTE AO ACÚMULO DE MASSA RELATIVA DE MATÉRIA SECA DE FOLHA (FIGURA 5 E ANEXO 8).	33
TABELA 9. TEMPERATURA MÉDIA DO AR (T , $^{\circ}\text{C}$), ESTÁDIO FENOLÓGICO (E.F.), SOMA CALÓRICA DIÁRIA ($T-T_b$, $^{\circ}\text{C.DIA}$) E ACUMULADA (GD , $^{\circ}\text{C.DIA}$) E DESENVOLVIMENTO RELATIVO (DR) DA CULTURA DE FEIJÃO ENTRE ABRIL E MAIO DE 1995.	38
TABELA 10. TEMPERATURA MÉDIA DO AR (T , $^{\circ}\text{C}$), ESTÁDIO FENOLÓGICO (E.F.), SOMA CALÓRICA DIÁRIA ($T-T_b$, $^{\circ}\text{C.DIA}$) E ACUMULADA (GD , $^{\circ}\text{C.DIA}$) E DESENVOLVIMENTO RELATIVO (DR) DA CULTURA DE FEIJÃO EM JUNHO DE 1995.	39
TABELA 11. TEMPERATURA MÉDIA DO AR (T , $^{\circ}\text{C}$), ESTÁDIO FENOLÓGICO (E.F.), SOMA CALÓRICA DIÁRIA ($T-T_b$, $^{\circ}\text{C.DIA}$) E ACUMULADA (GD , $^{\circ}\text{C.DIA}$) E DESENVOLVIMENTO RELATIVO (DR) DA CULTURA DE FEIJÃO EM JULHO DE 1995.	40
TABELA 12. DATAS, ESTÁDIOS FENOLÓGICOS (E.F.) E DIAS APÓS A EMERGÊNCIA (DAE) REFERENTES ÀS COLETAS PARA ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO (AQS), ANÁLISE QUÍMICA	

DA PLANTA (AQP), ANÁLISE DE CRESCIMENTO DA PLANTA (ACP), E ANÁLISE FITOTÉCNICA (AF).	41
TABELA 13. MODELO POLINOMIAL DE TERCEIRO GRAU RELATIVO À VARIAÇÃO DA MASSA DE MATÉRIA SECA DE FOLHA (M _F , G), EM FUNÇÃO DO DESENVOLVIMENTO RELATIVO (DR) DA CULTURA REFERENTE A TODOS OS TRATAMENTOS (FIGURA 16).....	46
TABELA 14. MODELO POLINOMIAL DE TERCEIRO GRAU RELATIVO À VARIAÇÃO DA MASSA DE MATÉRIA SECA TOTAL (M _{ST} , G), EM FUNÇÃO DO DESENVOLVIMENTO RELATIVO (DR) DA CULTURA REFERENTE A TODOS OS TRATAMENTOS (FIGURA 17).....	48
TABELA 15. TEOR (MÉDIA DOS DEZ TRATAMENTOS) DE NITROGÊNIO (%) NA FOLHA, NA HASTE, NO BOTÃO FLORAL, NA VAGEM E NA PARTE AÉREA TOTAL DA CULTURA DE FEIJÃO, EM SEIS DIFERENTES ÉPOCAS DE AMOSTRAGEM.	54
TABELA 16. TEOR (MÉDIA DOS DEZ TRATAMENTOS) DE FÓSFORO (%) NA FOLHA, NA HASTE, NO BOTÃO FLORAL, NA VAGEM E NA PARTE AÉREA TOTAL DA CULTURA DE FEIJÃO, EM SEIS DIFERENTES ÉPOCAS DE AMOSTRAGEM.	55
TABELA 17. TEOR (MÉDIA DOS DEZ TRATAMENTOS) DE POTÁSSIO (%) NA FOLHA, NA HASTE, NO BOTÃO FLORAL, NA VAGEM E NA PARTE AÉREA TOTAL DA CULTURA DE FEIJÃO, EM SEIS DIFERENTES ÉPOCAS DE AMOSTRAGEM.	56
TABELA 18. TEOR (MÉDIA DOS DEZ TRATAMENTOS) DE CÁLCIO (%) NA FOLHA, NA HASTE, NO BOTÃO FLORAL, NA VAGEM E NA PARTE AÉREA TOTAL DA CULTURA DE FEIJÃO, EM SEIS DIFERENTES ÉPOCAS DE AMOSTRAGEM.	57
TABELA 19. TEOR (MÉDIA DOS DEZ TRATAMENTOS) DE MAGNÉSIO (%) NA FOLHA, NA HASTE, NO BOTÃO FLORAL, NA VAGEM E NA PARTE AÉREA TOTAL DA CULTURA DE FEIJÃO, EM SEIS DIFERENTES ÉPOCAS DE AMOSTRAGEM.	58
TABELA 20. TEOR (MÉDIA DOS DEZ TRATAMENTOS) DE ENXOFRE (%) NA FOLHA, NA HASTE, NO BOTÃO FLORAL, NA VAGEM E NA PARTE AÉREA TOTAL DA CULTURA DE FEIJÃO, EM SEIS DIFERENTES ÉPOCAS DE AMOSTRAGEM.	59
TABELA 21. ÁREA FOLIAR TOTAL (CM ² /PLANTA), ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA (CM ² .G ⁻¹) E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (M ² .M ⁻²), AOS 16, 30, 44, 58 E 72 DIAS APÓS A EMERGÊNCIA, REFERENTES AOS DEZ TRATAMENTOS.	60

TABELA 22. CONTEÚDO DE ÁGUA (BASE ÚMIDA) NO GRÃO (G/100G) E RENDIMENTO OBTIDO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS (MÉTODO DE ESTIMATIVA DE RENDIMENTO PELA PESAGEM DOS GRÃOS).	63
TABELA 23. ANÁLISE DE VARIÂNCIA RELATIVA AO MÉTODO DE ESTIMATIVA DE RENDIMENTO PELA PESAGEM DOS GRÃOS (MÉTODO 1).	64
TABELA 24. PARÂMETROS EMPÍRICOS REFERENTES AO MODELO POLINOMIAL QUADRÁTICO CORRESPONDENTES AO MÉTODO DE ESTIMATIVA DE RENDIMENTO PELA PESAGEM DOS GRÃOS (MÉTODO 1)	64
TABELA 25. VALORES MÉDIOS DE PLANTAS POR UNIDADE DE ÁREA (P , PLANTAS/M ²), VAGENS TOTAIS (V_T , VAGENS/PLANTA) E CHOCHAS (V_C , VAGENS/PLANTA) POR PLANTA, SEMENTES POR VAGEM (SEMENTES/VAGEM), MASSA DA MATÉRIA SECA DE 200 SEMENTES (M_{200} , G) E DE UMA SEMENTE (M_S , G/SEMENTE) E RENDIMENTOS OBTIDO NOS DIFERENTES TRATAMENTOS (R , G.M ⁻²), E CORRIGINDO O CONTEÚDO DE ÁGUA – BASE ÚMIDA - DO GRÃO PARA 14% (R_M , KG.HA ⁻¹) (MÉTODO DE ESTIMATIVA DE RENDIMENTO PELA PESAGEM DOS GRÃOS).	66
TABELA 26. ANÁLISE DE VARIÂNCIA RELATIVA AO MÉTODO DE ESTIMATIVA DE RENDIMENTO PELA DETERMINAÇÃO DOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE GRÃOS (MÉTODO 2).	67
TABELA 27. PARÂMETROS EMPÍRICOS REFERENTES AO MODELO POLINOMIAL QUADRÁTICO CORRESPONDENTES AO MÉTODO DE ESTIMATIVA DE RENDIMENTO PELA DETERMINAÇÃO DOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE GRÃOS (MÉTODO 2)	67
TABELA 28. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (SQR: SOMA DOS QUADRADOS DA REGRESSÃO REFERENTE AO MODELO DO CO-SENO; SQE: SOMA DOS QUADRADOS DOS ERROS; SQT: SOMA DOS QUADRADOS TOTAIS; GLR: GRAUS DE LIBERDADE DA REGRESSÃO; GLE: GRAUS DE LIBERDADE DO ERRO; GLT: GRAUS DE LIBERDADE TOTAIS; QMR: QUADRADO MÉDIO DA REGRESSÃO; QME: QUADRADO MÉDIO DO ERRO; E F: RELAÇÃO ENTRE QMR E QME – VALOR F) E DE REGRESSÃO (Q: FATOR DE FORMA DA CURVA DE ACÚMULO DE MATÉRIA SECA RELATIVA DE FOLHA - MODELO DO CO-SENO; E R: COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO- FIGURA 29) REFERENTE AO ACÚMULO DE MATÉRIA SECA DE FOLHA NOS DIFERENTES TRATAMENTOS (TABELA 3).	71

TABELA 29. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (SQ: SOMA DOS QUADRADOS DA REGRESSÃO REFERENTE AO MODELO DO CO-SENO; SQE: SOMA DOS QUADRADOS DOS ERROS; SQT: SOMA DOS QUADRADOS TOTAIS; GLR: GRAUS DE LIBERDADE DA REGRESSÃO; GLE: GRAUS DE LIBERDADE DO ERRO; GLT: GRAUS DE LIBERDADE TOTAIS; QMR: QUADRADO MÉDIO DA REGRESSÃO; QME: QUADRADO MÉDIO DO ERRO; E F: RELAÇÃO ENTRE QMR E QME – VALOR F) E DE REGRESSÃO (Q: FATOR DE FORMA DA CURVA DE ACÚMULO DE MATÉRIA SECA RELATIVA TOTAL - MODELO DO CO-SENO; E R: COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO - FIGURA 30) REFERENTE AO ACÚMULO DE MATÉRIA SECA TOTAL NOS DIFERENTES TRATAMENTOS (TABELA 3).	72
TABELA 30. ANÁLISE DE VARIÂNCIA (SQ: SOMA DOS QUADRADOS; GL: GRAUS DE LIBERDADE; QM: QUADRADO MÉDIO; E F: VALOR F) REFERENTE AO ACÚMULO DE MATÉRIA SECA DE FOLHA E TOTAL CONSIDERANDO TODOS OS TRATAMENTOS EM CONJUNTO.	73
TABELA 31. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À <u>ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO</u> CORRESPONDENTE AO BLOCO I NOS DIAS 24 DE ABRIL E 22 DE MAIO DE 1995.....	78
TABELA 32. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À <u>ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO</u> CORRESPONDENTE AO BLOCO I NOS DIAS 5 DE JUNHO E 10 DE JUNHO DE 1995.....	79
TABELA 33. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À <u>ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO</u> CORRESPONDENTE AO BLOCO I NOS DIAS 15 DE JUNHO E 3 DE JULHO DE 1995.	80
TABELA 34. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À <u>ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO</u> CORRESPONDENTE AO BLOCO I NO DIA 7 DE AGOSTO E BLOCO II NO DIA 24 DE ABRIL DE 1995.....	81
TABELA 35. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À <u>ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO</u> CORRESPONDENTE AO BLOCO II NOS DIAS 22 DE MAIO E 5 DE JUNHO DE 1995.....	82
TABELA 36. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À <u>ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO</u> CORRESPONDENTE AO BLOCO II NOS DIAS 10 E 15 DE JUNHO DE 1995.	83
TABELA 37. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À <u>ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO</u> CORRESPONDENTE AO BLOCO II NOS DIAS 3 DE JULHO E 7 DE AGOSTO DE 1995.....	84
TABELA 38. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À ANÁLISE QUÍMICA DA <u>HASTE DO FEIJOEIRO</u> CORRESPONDENTE AOS DOIS BLOCOS NOS DIAS 10 DE MAIO E 24 DE MAIO DE 1995.	85

TABELA 39. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À ANÁLISE QUÍMICA DA <u>HASTE DO FEIJOEIRO</u> CORRESPONDENTE AOS DOIS BLOCOS NOS DIAS 7 E 21 DE JUNHO DE 1995.	86
TABELA 40. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À ANÁLISE QUÍMICA DA <u>HASTE DO FEIJOEIRO</u> CORRESPONDENTE AOS DOIS BLOCOS NOS DIAS 5 E 19 DE JULHO DE 1995.	87
TABELA 41. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À ANÁLISE QUÍMICA DA <u>FOLHA DO FEIJOEIRO</u> CORRESPONDENTE AOS DOIS BLOCOS NOS DIAS 10 E 24 DE MAIO DE 1995.	88
TABELA 42. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À ANÁLISE QUÍMICA DA <u>FOLHA DO FEIJOEIRO</u> CORRESPONDENTE AOS DOIS BLOCOS NOS DIAS 7 E 21 DE JUNHO DE 1995.	89
TABELA 43. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À ANÁLISE QUÍMICA DA <u>FOLHA DO FEIJOEIRO</u> CORRESPONDENTE AOS DOIS BLOCOS NOS DIAS 5 E 19 DE JUNHO DE 1995	90
TABELA 44. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À ANÁLISE QUÍMICA DA <u>BOTÃO FLORAL DO FEIJOEIRO</u> CORRESPONDENTE AOS DOIS BLOCOS NOS DIAS 7 E 21 DE JUNHO DE 1995.	91
TABELA 45. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À ANÁLISE QUÍMICA DA <u>VAGEM DO FEIJOEIRO</u> CORRESPONDENTE AOS DOIS BLOCOS NOS DIAS 21 DE JUNHO E 5 DE JULHO DE 1995.....	92
TABELA 46. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À ANÁLISE QUÍMICA DA <u>VAGEM DO FEIJOEIRO</u> CORRESPONDENTE AOS DOIS BLOCOS NO DIA 19 DE JULHO DE 1995.....	93
TABELA 47. DADOS ORIGINAIS REFERENTES À ANÁLISE QUÍMICA DOS <u>GRÃOS DO FEIJOEIRO</u> CORRESPONDENTE AOS DOIS BLOCOS NO DIA 7 DE AGOSTO DE 1995.....	94
TABELA 48. RADIAÇÃO SOLAR (R_s , CAL/CM ² .DIA), INSOLAÇÃO (I, HORAS/DIA), CHUVA (C, MM), UMIDADE RELATIVA (UR, %), VELOCIDADES DO VENTO MÁXIMA (V _{MAX} , KM/H) E MÉDIA (V _{MED} , M/S), TEMPERATURAS MÁXIMA (T _{MAX} , °C), MÍNIMA (T _{MIN} , °C) E MÉDIA (T _{MED} , °C), EVAPORAÇÃO DO TANQUE CLASSE A E DIREÇÃO DO VENTO (DV) ÀS 7 (D ₇), 14 (D ₁₄) E 21 (D ₂₁) HORAS REFERENTES AO MÊS DE <u>ABRIL</u> DE 1995 EM PIRACICABA, SP.	106
TABELA 49. RADIAÇÃO SOLAR (R_s , CAL/CM ² .DIA), INSOLAÇÃO (I, HORAS/DIA), CHUVA (C, MM), UMIDADE RELATIVA (UR, %), VELOCIDADES DO VENTO MÁXIMA (V _{MAX} , KM/H) E MÉDIA (V _{MED} , M/S), TEMPERATURAS MÁXIMA (T _{MAX} , °C), MÍNIMA (T _{MIN} , °C) E MÉDIA (T _{MED} , °C), EVAPORAÇÃO DO TANQUE CLASSE A E DIREÇÃO DO VENTO (DV)	

ÀS 7 (D ₇), 14 (D ₁₄) E 21 (D ₂₁) HORAS REFERENTES AO MÊS DE <u>MAIO</u> DE 1995 EM PIRACICABA, SP.	107
TABELA 50. RADIAÇÃO SOLAR (RS, CAL/CM ² .DIA), INSOLAÇÃO (I, HORAS/DIA), CHUVA (C, MM), UMIDADE RELATIVA (UR, %), VELOCIDADES DO VENTO MÁXIMA (VMAX, KM/H) E MÉDIA (VMED, M/S), TEMPERATURAS MÁXIMA (TMAX, °C), MÍNIMA (TMIN, °C) E MÉDIA (TMED, °C), EVAPORAÇÃO DO TANQUE CLASSE A E DIREÇÃO DO VENTO (DV) ÀS 7 (D ₇), 14 (D ₁₄) E 21 (D ₂₁) HORAS REFERENTES AO MÊS DE <u>JUNHO</u> DE 1995 EM PIRACICABA, SP.	
	108
TABELA 51. RADIAÇÃO SOLAR (RS, CAL/CM ² .DIA), INSOLAÇÃO (I, HORAS/DIA), CHUVA (C, MM), UMIDADE RELATIVA (UR, %), VELOCIDADES DO VENTO MÁXIMA (VMAX, KM/H) E MÉDIA (VMED, M/S), TEMPERATURAS MÁXIMA (TMAX, °C), MÍNIMA (TMIN, °C) E MÉDIA (TMED, °C), EVAPORAÇÃO DO TANQUE CLASSE A E DIREÇÃO DO VENTO (DV) ÀS 7 (D ₇), 14 (D ₁₄) E 21 (D ₂₁) HORAS REFERENTES AO MÊS DE <u>JULHO</u> DE 1995 EM PIRACICABA, SP.	
	109
TABELA 52. RADIAÇÃO SOLAR (RS, CAL/CM ² .DIA), INSOLAÇÃO (I, HORAS/DIA), CHUVA (C, MM), UMIDADE RELATIVA (UR, %), VELOCIDADES DO VENTO MÁXIMA (VMAX, KM/H) E MÉDIA (VMED, M/S), TEMPERATURAS MÁXIMA (TMAX, °C), MÍNIMA (TMIN, °C) E MÉDIA (TMED, °C), EVAPORAÇÃO DO TANQUE CLASSE A E DIREÇÃO DO VENTO (DV) ÀS 7(D ₇), 14 (D ₁₄) E 21 (D ₂₁) HORAS REFERENTES AO MÊS DE <u>AGOSTO</u> DE 1995 EM PIRACICABA, SP.	
	110

MODELO EMPÍRICO, DETERMINÍSTICO E DINÂMICO PARA ESTIMAR O ACÚMULO DE MATÉRIA SECA DO FEIJOEIRO COMUM

Autor: Hudson Santos Pimenta

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luiz Fancelli

RESUMO

Com o principal objetivo de elaborar um modelo empírico, determinístico para estimar o acúmulo de matéria seca, e prever as épocas de florescimento e do ponto de maturidade fisiológica da cultura de feijão, em função da temperatura média diária do ar, foi conduzido um experimento na área do Departamento de Agricultura - ESALQ, Universidade de São Paulo, em Piracicaba-SP (22°42'30" de latitude Sul, 47°38'00" de longitude Oeste e 546 m de altitude) utilizando o cultivar IAC-Carioca sob dez tratamentos (diferentes níveis de nitrogênio e água). Em função dos resultados obtidos, verificou-se que: i. os atributos químicos do solo (pH, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio e alumínio) permaneceram praticamente constantes durante todo o experimento; ii. as marchas de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, e enxofre podem ser estimadas a partir do conhecimento do teor médio dos macronutrientes e do fator de forma do modelo do co-seno referente ao acúmulo de matéria seca total; iii. a variação temporal do índice de área foliar da cultura de feijão pode ser inferida a partir do modelo do co-seno referente ao acúmulo de matéria de folha, conhecendo a área foliar específica da cultura de feijão; iv. a relação funcional (superfície de resposta) entre rendimento, e os fatores de produção água (atendimento da demanda evapotranspiratória) e nitrogênio pode ser obtida empiricamente utilizando diversos modelos; v. os métodos prático e fitotécnico de estimativa de rendimento apresentam resultados análogos; e vi. os modelos sugeridos são utilizáveis para o que foi proposto.

EMPIRICAL, DETERMINISTIC AND DYNAMIC MODEL TO ESTIMATE DRY MATTER ACCUMULATION ON COMMON BEAN

Author: Hudson Santos Pimenta

Adviser: Prof. Dr. Antônio Luiz Fancelli

SUMMARY

With the main purpose of developing an empirical, deterministic and dynamic model to estimate the effect of daily air temperature on growth (dry matter accumulation), and forecast the date of flowering and physiological maturity point of the common bean, an experiment was carried out at the Department of Agriculture-ESALQ, University of São Paulo, in Piracicaba-SP (latitude: 22°42'30" South; longitude: 47°38'00" West and altitude: 546 m) using the cultivar IAC-Carioca under ten treatments (different levels of nitrogen and water). The results showed that: i. for practical propose, the soil chemical attributes (pH, organic matter, total nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, hydrogen and aluminum) kept constants during the field experiment; ii. the temporal variation of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and sulfur uptake can be estimated using the proposed model and the mean concentration values of all nutrients; iii. the temporal variation of the common bean leaf area index can be estimated using the cosine model and knowing the specific leaf area; iv. the functional relationship (response surface) between yield, and the production factors water (relative supply of evapotranspiration demand) and nitrogen can be obtained empirically using different models; v. the practical and agricultural estimating yield methods presented analogous results; and vi. the proposed models can be used for their purpose.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil o rendimento médio da cultura de feijão gira em torno de 600 kg.ha⁻¹, valor muito aquém do desejado. Práticas corretas de manejo podem ser determinantes para a condução adequada da lavoura, assim sendo todas as informações sobre elementos bióticos (pragas, doenças e plantas daninhas) e abióticos (clima, planta, solo) e a interação entre esses fatores podem auxiliar tanto o produtor quanto o pesquisador no desenvolvimento da cultura.

O modelo proposto neste trabalho é um instrumento que permite estimar a variação temporal do acúmulo de matéria seca relativa, e prever as épocas do florescimento e do ponto de maturidade fisiológica da cultura de feijão.

Além disso o modelo pode auxiliar na interpretação de dados experimentais, sendo mais uma ferramenta para o desenvolvimento de novas técnicas de pesquisa e manejo num ambiente que hoje exige maximização do uso de recursos.

A proposição do presente modelo é justificável por se tratar de uma importante ferramenta para definição de população de plantas, épocas de semeadura, colheita e da utilização de fertilizantes, ou ainda, o momento exato do ponto de maturidade fisiológica do feijão visando obter sementes de melhor qualidade, racionalizando assim a produção e permitindo maior aproveitamento dos recursos naturais tais como chuva e temperatura, favorecendo o planejamento de atividades agrícolas ao nível de propriedade, e no zoneamento climático ao nível de região.

O presente trabalho tem os seguintes objetivos:

- i. **objetivo principal:** propor um modelo extrapolável (apresentando referências de manejo – fenologia – e de planejamento – soma calórica) para estimar a variação temporal do acúmulo de matéria seca total de parte aérea e de folha, e prever as épocas da máxima taxa de acúmulo de matéria seca, do florescimento e do ponto de maturidade fisiológica da cultura de feijão;

- ii. **objetivos secundários:** ii.1. caracterizar a variabilidade e a variação temporal dos atributos químicos do solo (pH, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio e alumínio); ii.2. caracterizar a marcha de absorção dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, e enxofre); ii.3. caracterizar a variação temporal do índice de área foliar da cultura de feijão; ii.4. obter a relação funcional (superfície de resposta) empírica entre rendimento, e os fatores de produção água (atendimento da demanda evapotranspiratória) e nitrogênio; ii.5. avaliar os métodos prático e fitotécnico de estimativa de rendimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Modelagem

2.1.1. Modelo

A cultura de feijão demonstra grande sensibilidade ao estresse hídrico podendo ter baixos rendimentos em situações de seca, além disso a capacidade da planta de produzir matéria seca está diretamente relacionada com a quantidade de energia luminosa disponível e com a capacidade de aproveitamento dessa energia (Costa, 1994). Por esse motivo torna-se importante a análise do desenvolvimento da cultura em diferentes situações.

Segundo Pereira (1987) o desenvolvimento de culturas anuais pode ser dividido em três partes: (a) inicial: crescimento lento (momento do estabelecimento); (b) intermediária: crescimento rápido (consolidação da cultura); (c) final: maturação (crescimento pequeno ou nulo). A taxa de crescimento da cultura pode ser derivada pela variação da massa seca com o tempo e representa a capacidade de produção de fitomassa. Essa taxa é composta por todas as partes da planta e pode ocasionalmente ser dividida para efeito de estimativa através de modelos.

Para estimar alguns índices fisiológicos, faz-se necessário conhecer a variação temporal da massa seca e do índice de área foliar. Na avaliação da massa de matéria seca deve haver uma padronização dos métodos de secagem do material, pois a quantidade de água no tecido vegetal varia com a hora do dia, com as condições ambientais e com o estágio de desenvolvimento da planta. A variação temporal da área foliar em geral aumenta até um máximo, onde permanece por algum tempo, decrescendo em seguida, devido a senescência das folhas velhas. Como a fotossíntese depende, entre outros fatores, da área foliar, o rendimento da cultura será maior quanto mais rápido a planta atingir o índice de área foliar máximo e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa (Pereira, 1987).

Além desses índices relacionados à cultura, existem importantes fatores climáticos a serem considerados, tais como radiação solar e temperatura (Goudriaan, 1994).

O rendimento fotossintético da planta representa a interação entre a resposta fotossintética de folhas individuais com a disponibilidade de luz que incide sobre elas (Costa, 1994). Sendo assim, o rendimento depende do balanço de energia ao nível do dossel da cultura, que por sua vez está correlacionado com a temperatura média do ar.

A temperatura do ar tem uma característica cíclica que vai do mínimo, ao nascer do sol, até um máximo (próximo ao meio dia), podendo ocorrer variações. Conhecendo-se essas temperaturas num determinado período é possível descrever o ciclo de algumas culturas anuais com boa precisão dependendo do propósito (Goudriaan, 1994).

A modelagem matemática tem como função interagir os fatores ambientais com os da planta permitindo um estudo mais detalhado no intuito de prever processos de interesse. O ideal seria formular um modelo suficientemente complexo para descrever dados originais, sem no entanto dificultar sua utilização prática (Pereira, 1987). Por outro lado, todo modelo é uma simplificação do sistema a ser estudado, e não pode contemplar todas as variáveis existentes, o que resulta numa previsão não exata da realidade.

Para utilização dos modelos, torna-se necessário a determinação de seus parâmetros empíricos através de experimentação (necessidade de várias amostragens). No caso de amostragens em que parte das plantas são destruídas há interferência na população restante. Na análise quantitativa de crescimento de comunidades vegetais os intervalos de amostragens mais utilizados variam entre 7 e 14 dias (Pereira, 1987). Portanto, o tamanho dos experimentos deve ser em função do número de amostragens necessárias.

2.1.2. Desenvolvimento relativo da cultura de feijão

Define-se desenvolvimento relativo da cultura como sendo a relação entre a soma calórica atual e a soma calórica da cultura correspondente ao ponto de maturidade fisiológica, definida pela seguinte expressão:

$$Dr_n = \frac{\sum_{i=1}^n T_i - Tb}{GD_{pmf}} (Tb \leq T_i \leq T_m) \quad (1)$$

em que Dr_n refere-se ao desenvolvimento relativo da cultura no n-ésimo dia após a emergência, T_i à temperatura média do ar no i-ésimo dia após a emergência, Tb à temperatura base inferior (10 °C), T_m à temperatura base superior (28 °C), e GD_{pmf} à soma calórica da cultura de feijão correspondente ao ponto de maturidade.

A soma calórica da cultura correspondente ao ponto de maturidade é estimada pela seguinte equação:

$$GD_{pmf} = \int_0^{t_{pmf}} T_i(t) dt - Tb \cdot t_{pmf} \cong \sum_{i=1}^{t_{pmf}} T_i - Tb \quad (2)$$

em que $T(t)$ refere-se à variação temporal da temperatura entre a emergência e o ponto de maturidade fisiológica, e t_{pmf} ao número de dias após a emergência para atingir o ponto de maturidade fisiológica. A soma calórica da cultura correspondente ao ponto de maturidade pode ser aproximada, numa escala diária, pelo numerador da equação anterior (onde $n = t_{pmf}$).

A temperatura média do ar (T_i , °C) é estimada pela média entre as temperaturas máxima (T_{max_i} , °C) e mínima (T_{min_i} , °C):

$$T_i = \frac{T_{\max i} + T_{\min i}}{2} \quad (3)$$

2.1.3. Fenologia da cultura de feijão

Tabela 1. Descrição dos estádios fenológicos do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) (Fancelli, 1992).

Fase	Código	Caracterização do estágio
Vegetativa	VO	Início da germinação, aparecimento da radícula
	V1	Cotilédones acima da superfície do solo, desdobramento "alça" do hipocótilo
	V2	Folhas primárias (unifoliadas) expandidas em posição horizontal
	V3	Primeira folha trifoliada plenamente desdobrada, abscisão dos cotilédones
	V4	Terceira folha trifoliada desdobrada, início processo ramificação da planta
Reprodutiva	R5	Botões florais
	R6	Abertura da primeira flor
	R7	Início de formação e aparecimento das primeiras vagens
	R8	Enchimento das vagens, primeiras vagens cheias
	R9	Modificação da cor das vagens (maturidade fisiológica), senescência da planta

2.2. Nitrogênio

2.2.1. Recomendação de adubação nitrogenada

Embora não se tenha ainda informação definida de como parcelar o nitrogênio aplicado via água de irrigação em função do desenvolvimento da planta, Costa et al. (1986) sugeriram esquemas de aplicação fundamentados na marcha de absorção do nutrientes para as culturas de arroz, milho, sorgo e trigo. Meirelles et al. (1980), utilizando 100 kg.ha⁻¹ de nitrogênio, recomendaram para o feijão o parcelamento

do N da seguinte forma: 1/3 da dose total no plantio, devido ao fato de que nos primeiros estádios de desenvolvimento da cultura a utilização do fertilizante é alta, porém com baixa eficiência, e os 2/3 restantes devem ser aplicados no período de 30 a 45 dias após a germinação, onde se verifica a maior necessidade de nitrogênio pela planta e maior eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado. Após os 45 dias não se deve adubar com N pois, apesar de haver aumento no nitrogênio total da planta, a contribuição do N do fertilizante cai sensivelmente, havendo maior absorção de nitrogênio do solo.

Entre os fertilizantes sólidos, existem vários no mercado brasileiro que são passíveis de dissolução e aplicação no fluxo de água da irrigação (Maia et al., 1989; Costa et al., 1986).

Viets et al. (1967) recomendam o uso de soluções amoniacais de NH_4NO_3 , amônia anidra, aquamônia e uréia em sistemas de irrigação por aspersão. No caso da uréia, a concentração de biureto não deve ultrapassar 0,25%, a fim de que não ocorram problemas de toxicidade para as plantas.

A demanda de nitrogênio pela cultura de feijão em função da produtividade é dada por $\text{kg.ha}^{-1} \times \text{N total extraído (kg)}$. Conhecendo-se a demanda, a capacidade de suprimento de nitrogênio pelo solo e a perda estimada dos fertilizantes nitrogenados, pode-se determinar a quantidade a ser aplicada para se atingir uma dada produtividade (Costa et al., 1986).

Segundo Haag et al. (1967) a cultura extrai 201 kg.ha^{-1} de nitrogênio dos quais 14,3 kg são destinados à produção estimada de 500 kg de grãos.

Resultados obtidos por Gallo & Miyasaka (1961) mostraram que o nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade pelo feijoeiro, seguido pelo potássio, cálcio, magnésio, enxofre e fósforo.

Também para evitar maiores perdas deve-se considerar que Clark *et al.*, 1960; Eno & Blue, 1957; Ernst & Massey, 1960; Malavolta, 1981; Meyer *et al.*, 1961; Murphy, 1979, citados por Caballero (1982) dizem que a volatilização do nitrogênio ocorre com maior intensidade quando aplicado em superfície, no entanto depende de vários fatores tais como tipo de fertilizante utilizado, temperatura, umidade do solo, teor de matéria orgânica, CTC (capacidade de troca catiônica), pH, uniformidade da

superfície, tempo decorrido entre a aplicação e a seguinte chuva e outros. A perda de nitrogênio para a atmosfera se dá quando este está na forma de amônia (NH_3).

Para adubação nitrogenada com uréia tem-se recomendado a incorporação do adubo a profundidades de 5 a 10 centímetros para evitar perdas por volatilização. Chuva após aplicação incorpora o adubo diminuindo perdas. Da mesma forma fertilizantes aplicados via água de irrigação são levados para profundidades abaixo da camada superficial eliminando o problema de volatilização (Coelho, 1990).

2.2.2. Fertirrigação

O fornecimento de água e nutrientes é essencial para que se obtenha boa produção das culturas, porém, a irrigação devido à pouca disponibilidade de mão-de-obra, ao elevado custo dos fertilizantes, sistemas de irrigação e energia estar se tornando cada vez mais cara.

A fertirrigação apresenta bom potencial de redução de mão-de-obra, custos e aumento do rendimento agrícola. A técnica consiste na aplicação simultânea de água e fertilizante através de um sistema de irrigação (Frizzzone et al., 1985).

No Brasil, ainda são poucas as áreas que utilizam fertirrigação. Apesar dos equipamentos existentes permitirem a aplicação de fertilizantes na mais variadas dosagens, com alta precisão e exatidão, não há dados de pesquisas relativos ao modo, quantidade e dosagem de aplicação em função de tipos de solos, espécies de importância e condições climáticas específicas para a agricultura irrigada brasileira. Mesmo assim, alguns agricultores adotam a técnica, principalmente para adubação nitrogenada (Marchetti, 1983).

As vantagens oferecidas pela fertirrigação e a necessidade de se melhorar e aumentar o uso de irrigação geram grandes perspectivas de utilização desta técnica no Brasil.

O nitrogênio aplicado à cultura fornece respostas de maneira diversas tendo em vista as condições edafoclimáticas, no Brasil todo, com frequência e amplitude variáveis de região para região (Rosolem, 1987).

A fertirrigação é um dos vários métodos existentes para o fornecimento de nutrientes às plantas. Sua aplicabilidade depende de condições do meio, tal como o tipo de solo, clima e qualidade de água, cultura, método de irrigação utilizado, tipos de fertilizantes disponíveis e considerações econômicas quando comparado com outros métodos de aplicação de fertilizante (Hagin & Tucker, 1982).

Em relação ao solo, uma das principais características que influenciam a eficiência da fertirrigação é a textura. Nos solos arenosos, esta técnica pode apresentar maiores vantagens, em relação aos solos de textura mais fina (Cadwell et al., 1977). Isso se deve ao fato dos solos com textura grosseira apresentarem condições mais propícias as perdas de nutrientes por lixiviação, o que pode ser minimizado pela aplicação em pequenas quantidades, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Com isso, pode-se aumentar a eficiência de utilização dos fertilizantes, através da maior disponibilidade de nutrientes na camada de solo onde se encontra o sistema radicular da planta.

A aplicação manual de fertilizantes é dificultosa, onerosa e inexata, e a aplicação mecânica pode promover a compactação do solo. Estes fatores negativos podem ser superados pela aplicação do fertilizantes junto com a água de irrigação, o que representa uma economia de mão-de-obra e de maquinaria, e rapidez do processo. A distribuição torna-se mais uniforme pois a solução fertilizante dilui-se de forma homogênea na água de irrigação (Frizzone et al., 1985).

A fertilização combinada com a irrigação oferece maior versatilidade na época de aplicação de nutrientes, podendo-se dosar adequadamente as quantidades de nutrientes e fornecê-los segundo as necessidades das plantas, durante o ciclo vegetativo, sem causar danos à cultura. A partir de um determinado estágio de desenvolvimento da cultura, torna-se quase impossível a realização da adubação fracionada pela forma convencional, devido à dificuldade de circulação de máquinas e implementos agrícolas na lavoura e ao custo da operação. Nessa situação, a irrigação ganha importância como veículo de aplicação de adubos na lavoura.

2.2.3. Efeito da adubação nitrogenada via fertirrigação sobre o rendimento

Dowler et al. (1985) concluíram que as produções obtidas durante quatro anos através da fertirrigação igualaram ou excederam a média do nível de produção da estação de pesquisa (Estados Unidos da América). A aplicação de nitrogênio através da irrigação por aspersão manteve um nível adequado de fertilidade e alta produção.

Costa, citado por Maia (1989) conduziu experimento com milho em Latossolo Vermelho-escuro distrófico textura argilosa, comparando dois métodos de aplicação de uréia: em cobertura incorporada ao solo e na água de irrigação através do método de aspersão, parcelando em 3, 4 e 6 vezes as doses de 60 e 120 kg de N/ha. Conclui que a produção de grãos não foi afetada pelo método de aplicação de N, pelo parcelamento e pela dose aplicada, indicando que a fertirrigação proporcionou o mesmo nível de produtividade em comparação com o método convencional de aplicação de N.

Objetivando estudar o efeito da adubação nitrogenada (40 kg de N/ha) aplicada através da água de irrigação (aspersão convencional) sobre o rendimento de grãos, acúmulo de matéria seca e absorção de nitrogênio pelo feijão, MAIA (1989) conduziu um experimento com o cultivar Carioca, com uréia como fonte de fertilizantes, em Terra Roxa Estruturada. O autor concluiu que os tratamentos com fertirrigação e adubação nitrogenada convencional não apresentaram diferença significativa para absorção de nitrogênio pela planta e produção de grãos. A fertirrigação aumentou o acúmulo de matéria seca na planta, e não se mostrou inferior à adubação nitrogenada convencional em nenhuma situação, apresentando a vantagem de redução de mão-de-obra e simplificação da fertilização nitrogenada.

Arscott (1970) conduziu um experimento com bananeiras e verificou que a aplicação de uréia através da irrigação por sistema de aspersão foi mais eficiente que a aplicação manual. A quantidade de nitrogênio nas folhas foi maior nas plantas fertirrigadas e a produção de banana foi maior, a partir de menor quantidade de fertilizantes.

Rehm & Wiese (1975), citados por Frizzone et al. (1985), verificaram que a aplicação de nitrogênio ao lado das linhas de plantas, associada à aplicação por pivô central, em um solo arenoso, resultou em maiores produções de grãos de milho, em

relação à aplicação em pré-plantio ou exclusivamente ao lado das plantas. Entretanto, a fertirrigação não influenciou a concentração de nitrogênio na folha da espiga, no estágio de fertilização, nem no teor de nitrogênio na planta inteira no estágio de milho verde. Apenas quando esse nutriente foi aplicado via aspersão é que se determinou quantidades consideráveis do mesmo na camada de solo de 120 a 150 cm de profundidade, que resultou em uma maior eficiência de utilização do fertilizante. Isto se deve ao fato de ter ocorrido precipitações num total de 124,5 mm durante o experimento, o que proporcionou a lixiviação de nitrogênio abaixo de 150 cm, quando esse nutriente não foi aplicado via irrigação. Provavelmente, o suprimento de nitrogênio às plantas diminuiu, o que pode explicar as menores produções para os métodos convencionais de fertilização.

Para Caballero (1982) nem sempre a adubação nitrogenada tem influído significativamente na produção do feijoeiro. O autor cita Malavolta (1972) que em revisão de trabalhos sobre adubação nitrogenada de feijoeiro encontrou apenas 67 resultados de pesquisa que demonstraram resposta positiva a fertilização nitrogenada em um total de 232 ensaios.

A adubação nitrogenada no feijoeiro incrementa a quantidade de nitrogênio absorvida pela planta inteira, pelas raízes e pelas vagens, porém não para ramos e folhas. A absorção pelas vagens é alta variando, no caso do experimento feito por Caballero (1982), de 25,55 Kg.N.ha⁻¹ na testemunha até 72,53 Kg.N.ha⁻¹ no tratamento adubado com N. O acúmulo de N, portanto, é sensivelmente maior no período de desenvolvimento das vagens.

Comparando o rendimento do feijão em diferentes tratamentos com lâminas de irrigação obteve-se menor rendimento no tratamento com menor lâmina de irrigação, sendo portanto a água por si só um fator limitante na produção da cultura. Entretanto fixando-se a mesma lâmina ótima e alterando as adubações nitrogenadas, obtém-se um acréscimo de rendimento comparando-se o tratamento sem nitrogênio e os demais tratamentos com nitrogênio Felipe (1991).

2.2.4. Lixiviação

O manejo de água, particularmente a quantidade de água aplicada e a frequência de irrigação, influencia a distribuição dos fertilizantes em profundidade, especialmente aqueles que não são fixados nas camadas superiores, como os nitratos, em solos com ausência de mecanismos de retenção. A aplicação de água em excesso abaixo da zona radicular da cultura leva às perdas de nutrientes por lixiviação (Hagin & Tucker, 1982).

O parcelamento do nitrogênio influi decisivamente no rendimento do feijoeiro, conforme mostraram Meireles et al. (1980) em solo Terra Roxa Estruturada, aumentando sua assimilação pelas plantas e diminuindo a lixiviação.

As perdas por lixiviação podem ainda ser minimizadas controlando-se a profundidade de aplicação da solução fertilizante, ou seja, limitando-se as aplicações às camadas de solo onde efetivamente ocorrem atividade radicular (Berton, 1992).

De maneira geral, o parcelamento da adubação nitrogenada aumenta a absorção e diminui as perdas por lixiviação deste nutriente, resultando numa maior eficiência de utilização do nitrogênio do fertilizante pelas plantas (Meirelles et al., 1980; Malavolta, 1980; Urquiaga, 1982, citado por Maia (1989); Frizzzone et al., 1985).

Em regiões de agricultura intensiva tem sido relatado que está ocorrendo um decréscimo na qualidade das águas subterrâneas, com aumento no teor de nitratos, oriundos de fertilizantes (Frizzzone et al., 1985). A possibilidade de redução das doses de fertilizantes e aumento de sua eficiência de utilização quando aplicados via fertirrigação podem impedir, protelar ou diminuir a contaminação das águas subterrâneas. Segundo Berton (1992), embora haja ampla evidência de que o nitrato está se acumulando nas águas subterrâneas, a contribuição dos fertilizantes ainda não está bem definida, no entanto, sabe-se que a lixiviação do nitrato está positivamente correlacionada com a quantidade aplicada de nitrogênio e do volume de drenagem.

A perda de nitrogênio é mais intensa e rápida em solos de texturas grosseiras do que em solos de textura fina, uma vez que a água que excede a capacidade de campo percola através do solo, lixiviando nutrientes, principalmente N na forma de nitratos (Raij, 1981).

A falta de informação sobre dosagens e tipo de fertilizantes aliada a outros aspectos envolvidos em fertirrigação é uma das maiores limitações à difusão desta técnica no Brasil.

Neptune & Muraoka (1978) aplicaram doses entre 15 e 120 kg de N.ha⁻¹ na semeadura de feijão e não obtiveram efeito na produção, que alcançou 2200 kg.ha⁻¹, com doses de 15 e 30 kg de N.ha⁻¹ aplicadas antes ou durante o florescimento, houve melhor utilização do nutriente do que quando aplicado na semeadura.

Pons & Goepfert (1975) aplicaram doses de 0, 40, e 80 kg de N.ha⁻¹ em diversos cultivares (um terço na semeadura e dois terços quinze dias após a emergência), obtendo aumento na produção somente no segundo ano, em Viamão(RS). Houve redução no teor de potássio do solo, atribuído pelos autores em parte à maior extração pela cultura, deslocamento nos sítios de troca do solo e lixiviação.

Frizzzone et al. (1986) estudaram o efeito de lâmina total de água, doses de nitrogênio e da interação destes fatores sobre o rendimento econômico e componentes de produção, em Ilha Solteira (SP). Concluíram que a aplicação de água e nitrogênio aumentou o rendimento de grãos segundo uma relação quadrática. A inviabilidade econômica da adubação nitrogenada foi atingida mais rapidamente na menor lâmina de água aplicada, enquanto que a inviabilidade econômica da irrigação ocorreu quando não se utilizou nitrogênio.

Azevedo (1984) encontrou efeito na produção para lâminas de água (320, 342, 364, 392, e 417 mm) e doses de nitrogênio (0, 30, 60, e 90 kg.ha⁻¹) em Piracicaba (SP). Obteve produtividade máxima de 905 kg/ha para lâmina de 394 mm, com os dados distribuídos numa função quadrática. Para nitrogênio, o efeito quadrático indicou produtividade máxima de 988 kg.ha⁻¹, com aplicação de 162 kg de N.ha⁻¹, porém esta dose esteve aquém das doses aplicadas pelo autor no experimento.

Segundo resultados apresentados no trabalho de Leite (1993), do total de nitrogênio que atingiu as profundidades de 25 e 50 cm, quantidades superiores, respectivamente a 60 % e 80 % foram perdidas nos primeiros 25 dias após o plantio. Como, além disso, cada milímetro de água de chuva ou irrigação no sistema transportou

32,5 g.N.ha⁻¹ para profundidades abaixo de 50 cm, o autor recomenda um controle criterioso dos momentos de fertirrigação para se evitar perdas.

O comportamento do nitrogênio, aplicado na forma de adubo, é diferenciado conforme a profundidade. Aos 25 cm ocorre uma diminuição contínua na concentração do elemento no solo, enquanto que aos 50 cm as concentrações permanecem praticamente constantes durante o ciclo da cultura, independente da umidade (Leite, 1993).

Em condições naturais, ou seja, sem adubação Caballero (1982) cita que devido a freqüente incorporação dos resíduos vegetais na camada mais superficial e, portanto, maior teor de matéria orgânica, ocorre um acúmulo de nitrogênio na camada de 0 a 20 cm.

Ainda segundo o mesmo autor nas condições de Terra Roxa estruturada solo no qual foi desenvolvida a experimentação, as concentrações de nitrogênio na solução do solo são baixas quando analisadas camadas abaixo de 75 cm de profundidade. Portanto o potencial de perdas de nitrogênio por lixiviação não é tão alto dada a alta capacidade de armazenamento de água e retenção catiônica.

A lixiviação do nitrogênio no solo ocorre quando o elemento encontra-se na forma aniônica. Existem evidências de que, em solos tropicais, o processo de nitrificação não é muito acelerado, reduzindo portanto perdas por lixiviação devido a maior permanência do nitrogênio na forma amoniacal (Coelho, 1990).

2.2.5. Acidificação e acúmulo de nitrato

A acidificação do solo é provocada por diversas fontes de nitrogênio, em intensidade variável. O sulfato de amônio produz, consideravelmente mais acidez que outros fertilizantes nitrogenados, necessitando de maior dosagem de calcário para ser neutralizado. Costa et al. (1986) apresentam valores de potencial de acidificação de solos das diversas fontes de nitrogênio.

Segundo Berton (1992), as plantas podem acumular nitrato quando as taxas de aplicação de nitrogênio são muito maiores do que a cultura pode efetivamente converter em proteína. A redução do nitrato é controlada pelo nível da enzima redutase-

nitrato presente no citoplasma. A produção dessa enzima pode ser diminuída com mudança em fatores ambientais tais como seca ou diminuição na taxa de fotossíntese, e a planta passa a acumular nitrato. O excesso de nitrogênio nas plantas é freqüentemente mais armazenado na parte aérea do que nas raízes das plantas.

É reconhecido o conceito de níveis críticos de nitrato nos tecidos das plantas, especialmente em folhas e pecíolos. Smittle (1976), citado por Hagin & Tucker (1982) determinou para o estágio *fruit development* em feijoeiro, no pecíolo, o valor crítico de N-NO₃ em 1,0 ppm. O teor protéico da cultura de grãos é um guia para adubação nitrogenada. Como nessa cultura o nitrogênio é inicialmente usado para satisfazer produção e o restante vai para proteína do grão, um aumento no teor protéico indica nutrição adequada.

2.3. Água

2.3.1. Água e rendimento agrícola

A água é um dos fatores que limita o rendimento da cultura com maior freqüência, de modo que seu controle constitui um critério fundamental para o êxito do cultivo.

Dos fatores climáticos, a precipitação pluviométrica é o que freqüentemente limita o rendimento das culturas.

Experimentos conduzidos com feijoeiro na Flórida, Estados Unidos da América, em 1948 já demonstraram a sensibilidade da cultura à deficiência de água no solo (Janes, 1948 e Nettles, 1948, citados por Frizzzone, 1984).

Funções que relacionam de forma empírica o rendimento das culturas com os fatores de produção permitem otimizar o uso destes fatores ou prever rendimentos culturais.

O feijoeiro apresenta, segundo Doorembos & Pruitt (1976) citados por Felipe (1991), um requerimento hídrico que pode variar de 205 a 500 mm durante o ciclo. Aproximadamente 90 % do seu sistema radicular concentra-se na camada de 0 a 30 cm de profundidade, Reichardt *et al.* (1974) citados por Felipe (1991).

2.3.2. Efeito da irrigação no rendimento da cultura de feijão

Frizzone (1986) obtiveram um aumento linear da produção do feijoeiro com o aumento da lâmina de água no intervalo de 359 a 530 mm, em Latossolo Vermelho Escuro.

Em solo classificado como Terra Roxa Estruturada a irrigação máxima de 394 mm durante o ciclo da cultura de feijão possibilitou um aumento de 76,7 % de produtividade em relação a testemunha sem irrigação. No entanto tratamentos com lâminas de irrigação intermediárias apresentaram bom rendimento quando as aplicações foram feitas nos períodos críticos de florescimento e formação de vagens. Os tratamentos que sofreram deficiência hídrica nesses períodos tiveram diminuição no peso de grãos (Azevedo, 1984).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área experimental

O experimento foi conduzido no campo experimental do Departamento de Agricultura, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, cujas coordenadas geográficas são 22°42’ de latitude sul, 47°38’ de longitude oeste e altitude aproximada de 500 m acima do nível do mar.

3.2. Clima

As médias anuais de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa são de 21,1 °C, 1247 mm e 74 %, respectivamente, no local do experimento (Ometto, 1991). Segundo classificação de Köppen o clima é do tipo Cwa, denominado “tropical de altitude”. Clima mesotérmico de inverno seco, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18 °C e a do mês mais quente ultrapassa 22 °C. A estação seca ocorre entre o mês de abril e setembro, sendo julho o mês mais seco; o mês mais chuvoso oscila entre janeiro e fevereiro. O total das chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm. A temperatura do mês mais quente oscila entre 22 °C e 24 °C (Ometto, 1991).

3.3. Solo

O solo do experimento classifica-se como Terra Roxa Estruturada (TE) eutrófica, textura argilosa, com horizonte A moderado.

Para caracterização física da área experimental, foram feitas as seguintes determinações em cada bloco: i. granulometria em três profundidades (0 a 20 cm; 20 a 40 cm e 40 a 60 cm), segundo o método da pipeta descrito por Kilmer & Alexander (1949); ii. densidade do solo em três profundidades; iii. conteúdo de água no solo na capacidade de campo (θ_{cc}) segundo critério de Veihmeyer & Hendrickson (1949, 1950), nas profundidades de 15 cm e 30 cm; iv. curva de retenção de água no solo, obtida em laboratório com amostras indeformadas de solo coletadas a 15 cm e 30 cm de profundidade com aparelho amostrador de Uhland, utilizando-se funil de Haines para

valores de potencial mátrico fixados em -10, -20, -60, -100 e -300 cca e câmara de Richards para potenciais mátricos de -800, -3000 e -15000 cca.

Em função dos valores de conteúdo de água no solo determinados em laboratório, ajustou-se os dados experimentais ao modelo de van Genuchten (1980), referente à curva de retenção:

$$\theta = \theta_{r_j} + \frac{\theta_{s_j} - \theta_{r_j}}{\left[1 + (\alpha_j |\psi_m|)^n\right]^{m_j}} \quad (4)$$

em que θ refere-se ao conteúdo de água no solo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$), Ψ_m ao potencial mátrico (cm), α_j (cm^{-1}), m e n aos parâmetros empíricos determinados através de análise de regressão não linear minimizando a soma dos quadrados dos desvios utilizando procedimento iterativo de Newton-Raphson.

Tabela 2. Parâmetros empíricos referentes às curvas de retenção.

Camada, cm	α, cm^{-1}	m	n	$\theta_r, \text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$	$\theta_s, \text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$
0-20	0,022	0,2867		1,4178	0,478
20-40	0,024	0,2798	1,3998	0	0,469

Para caracterização química da área experimental, foram feitas análises químicas de rotina na camada de 0 a 20 cm de profundidade, em cada bloco.

Para estimar o potencial do solo no suprimento de nitrogênio e obter dados para uma possível análise de covariância, foi determinado em cada parcela, o nitrogênio total do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, antes, durante e após a condução do experimento.

3.4. Práticas culturais

3.4.1. Planta

Foram utilizadas sementes básicas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. IAC-carioca, que possui as seguintes características, segundo Silva (1981): porte semi prostrado, hábito de crescimento indeterminado tipo 3, podendo comportar-se com

hábito intermediário entre tipo 2 (ereto) e tipo 3 (prostrado com tendência a trepador), 30-35 dias para floração, flores brancas, 60-65 dias para o início da maturação, ciclo vegetativo de 85 dias, semente cor bege com rajas havana, pertencente ao grupo comercial Mulatinho Rajado.

3.4.2. Preparo do solo, semeadura e controle de plantas daninhas

Foi feita aração a 20 cm de profundidade, seguida de gradeação.

A semeadura foi feita manualmente com espaçamento entre as linhas de plantio de 50 cm, obtendo-se 11,8 plantas por metro linear na colheita, correspondente a uma população de 236.000 plantas.ha⁻¹. As sementes foram tratadas com inoculante específico.

O controle de plantas daninhas foi efetuado através de capinas manuais.

3.5. Tratamentos

Os fatores e níveis que constituem os tratamentos foram combinados conforme o delineamento central composto (Figura 2 e Tabela 3).

Figura 1. Descrição dos tratamentos (Tabela 3).

Os dez tratamentos foram alocados às unidades experimentais conforme o delineamento em blocos casualizados, utilizando-se dois blocos. Para o tratamento central foram utilizadas duas repetições em cada bloco, totalizando 10 parcelas experimentais por bloco.

Cada parcela experimental apresentava área de 36 m², com área útil de 16 m² (Figura 2).

Tabela 3. Descrição dos tratamentos em cada bloco.

Tratamento	Código	Nitrogênio	Lâmina de irrigação
		Kg.ha ⁻¹	% de necessidade de irrigação
Fatorial	F ₁	45	50
	F ₂	45	150
	F ₃	135	50
	F ₄	135	150
Axial	A ₁	0	100
	A ₂	180	100
	A ₃	90	200
	A ₄	90 ¹	0
Central	C ₁ e C ₂	90	100

1 Aplicação manual de nitrogênio

Figura 2. Esquema geral da área experimental.

3.5.1. Níveis de nitrogênio

Foram utilizados cinco níveis de adubação nitrogenada, utilizando-se uréia (46 % de N); e considerando solubilidade, a 25 °C, de 119 g por 100 g de água (Shani, 1981): 0, 45, 90, 135 e 180 kg de N.ha⁻¹ aplicados via água de irrigação.

As adubações foram parceladas em três vezes entre 15 e 45 dias após a emergência (DAE), conforme recomendado por Meirelles et al. (1980): i. 60 % no estágio V4 (15-20 DAE), por ocasião da emissão da terceira folha trifoliada; ii. 30 % no estágio R5, início da fase reprodutiva; e iii. 10 % no estágio R7, início da formação de vagens.

Visando obter valores aproximados da concentração de nitrogênio nos tratamentos a serem aplicados, elaborou-se uma tabela tendo-se como base os

parâmetros obtidos por Maia (1989) para aspersores, utilizando espaçamento entre aspersores igual a 6m, com pressão de serviço de 2,5 atm, raio de alcance de 7,0 m, vazão média de $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, e precipitação média de $7,8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$.

Tabela 4. Adubação nitrogenada ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em função do estágio fenológico da cultura.

N total a aplicar ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Estádio fenológico	N aplicado ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Teor em N (%) na calda	Teor em uréia (%)
45	V4	27,0	0,05	0,11
	R5	13,5	0,03	0,06
	R7	4,5		
90	V4	54,0	0,10	0,22
	R5	27,0	0,05	0,11
	R7	9,0		
135	V4	81,0	0,16	0,34
	R5	40,5	0,08	0,17
	R7	13,5		
180	V4	108,0	0,21	0,45
	R5	40,5	0,08	0,17
	R7	18,0		

3.5.2. Controle de irrigação

Foram utilizados cinco níveis para o fator água, aqui denominado por atendimento da demanda evapotranspiratória: 0 % (sem irrigação), 50 %, 100 %, 150% e 200 % da necessidade de irrigação determinada conforme o método conjugado (Dourado Neto et al., 1992), que utiliza os dados obtidos no tanque Classe A (evaporação acumulada) e dois tensiômetros (cápsulas porosas a 15 e 30 cm de profundidade, definindo duas camadas: 1. 0 a 20 cm; e 2. 20 a 40 cm) colocados numa parcela onde estava o tratamento central, nos dois blocos.

$$\varphi_z = -12,6h_{i,z} + hc_z + z \quad (5)$$

Para o cálculo do potencial mátrico utilizou-se a seguinte equação:
em que ψ_z refere-se ao potencial mátrico medido (cm) e hc à altura da cuba (cm) do tensiômetro instalado na profundidade z (cm).

Utilizou-se o tensiômetro para definir o momento de irrigação. Para tal, procedeu-se a irrigação toda vez que o módulo do potencial mátrico medido na primeira camada foi superior ao módulo do potencial mátrico crítico de -500 cm; e/ou quando o módulo do potencial mátrico medido na segunda camada foi superior ao módulo do potencial mátrico crítico de -300 cm.

Uma vez definido o momento de irrigar, irrigou-se, no tratamento central, a evapotranspiração máxima acumulada correspondente ao período entre duas irrigações. Nos outros tratamentos, aplicou-se uma lâmina de irrigação correspondente a 0 %, 50 %, 100%, 150 % e 200 % da demanda evapotranspiratória estimada.

Figura 3. O método conjugado (Dourado Neto et al., 1992) adaptado para utilização de dois tensiômetros.

3.6. Sistema de irrigação

Antes da instalação do experimento foi realizado testes com os aspersores para determinação de parâmetros como vazão média, raio de alcance e precipitação média.

Foi utilizado o sistema de aspersão convencional para aplicação dos tratamentos utilizando-se um aspersor (ZA-6 com dois bocais de 2,4 X 5,0 mm, marca FABRIMAR), por parcela, espaçados 18 m na parcela e 18 m entre parcelas (Figura 3).

Após a semeadura todos os tratamentos receberam irrigação uniforme para garantir a germinação das sementes.

3.7. Fenologia

A fenologia foi acompanhada diariamente. Foram utilizados os códigos relativos aos estádios de desenvolvimento do feijoeiro comum propostos por Gepts & Fernandez com a adaptação feita por Fancelli (1992). O acompanhamento foi efetuado no tratamento central, em cada bloco, numa área de 1 m². Cada estágio foi caracterizado quando 50 % das plantas presentes evidenciaram a diferenciação estipulada.

3.8. Duração dos estádios fenológicos e análise de crescimento vegetal

O desenvolvimento do feijoeiro foi acompanhado e analisado através da caracterização da duração de cada estágio de desenvolvimento e da evolução do índice de área foliar, calculando-se os índices fisiológicos do crescimento vegetal. A metodologia utilizada na avaliação destes parâmetros foi a descrita por Portes (1981), através de avaliações de cinco plantas por parcela, coletadas de 14 em 14 dias, retiradas na metade da área útil da parcela, de forma sistemática.

As plantas foram separadas em folhas, haste e pecíolos e vagens e grãos, as que foram secas a 65 °C por 48 horas.

Das folhas foram tomados ao acaso 50 discos de área conhecida, onde foi determinada a área foliar média específica (cm².g⁻¹), a qual multiplicada pela massa das folhas coletadas (folhas secas) resulta na área foliar média total por planta. Dividindo-se

esse valor pela área média de solo explorada pela planta, estima-se, portanto, o índice de área foliar (IAF).

3.9. Determinações referentes ao solo e à planta

Tabela 5. Determinações referentes ao solo e à planta.

Descrição	Código	Atributos
estádios fenológicos	E.F.	-
dias após a emergência	DAE	-
análise química do solo	AQS	pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio e alumínio, e nitrogênio total
análise química da planta	AQP	nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, e enxofre no feijoeiro: haste (h), folha (f), botão floral (bf), vagem (v) e grão (g)
análise de crescimento da planta	ACP	área foliar (L^2), massa (M) de matéria seca e área foliar específica ($L^2.M^{-1}$), com conseqüente determinação do índice de área foliar ($L^2.L^{-2}$) e taxa de crescimento de área foliar ($L^2.T^{-1}$)
análise fitotécnica	AF	estande de plantas, e avaliação dos componentes de produção da cultura de feijão na colheita (número de vagens por planta, número de sementes por vagem, massa média da matéria de um grão e conteúdo de água)

3.9.1. Teor de nitrogênio total no solo

O teor de nitrogênio total no solo foi determinado no Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

3.9.2. Marcha de absorção dos macronutrientes no feijoeiro

Os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre no feijoeiro foram determinados no Laboratório de Análise de Plantas do Departamento de

Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

3.9.3. Acompanhamento do pH do solo

Foi feito periodicamente o acompanhamento da variação do pH do solo na camada de 0 a 20 cm. As subamostras foram coletadas nos pontos de amostragem das plantas coletadas para análise de crescimento.

3.10. Avaliação do sistema de irrigação

Para avaliação do sistema de irrigação, foram feitas medidas das lâminas de irrigação aplicadas em cada parcela nos estádios R5 e R7, onde foram feitas coletas de amostras por meio de pluviômetros instalados no centro de cada parcela.

3.11. Rendimento de grãos

O rendimento de grãos foi avaliado na metade da área útil da parcela, não utilizada na retirada de plantas para análise de crescimento.

Para estimativa do rendimento foram utilizados dois métodos: i. Método 1: estimativa de rendimento pela pesagem dos grãos, ii. Método 2: estimativa de rendimento pela determinação dos componentes de produção de grãos.

A estimativa de rendimento pela pesagem dos grãos foi feita através da extrapolação da área de amostragem para a área de 1 ha, corrigindo o conteúdo no grão para 14 g/100g – base úmida.

Para estimativa do rendimento pela determinação dos componentes de produção de grãos, utilizou-se a seguinte equação:

$$R = \frac{P \cdot (V_t - V_c) \cdot S_v \cdot M_s}{10 \cdot (100 - u)} \quad (6)$$

em que R refere-se ao rendimento estimado (kg.ha⁻¹), P à população (plantas/ha), V_t ao número total de vagens totais por planta (vagens/planta), V_c ao número de vagens chochas por planta (vagens/planta), S_v número de sementes por vagem, M_s à massa

média de matéria seca de uma semente (g/grão) e u ao conteúdo de água no grão, a base de massa – base úmida (14%).

3.12. Análise de solo

Fez-se análise do solo no início e no final do experimento em todas as parcelas, na profundidade de 0 a 20 cm.

As análises químicas foram feitas no laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Química da ESALQ, segundo metodologias citadas por Sarruge & Haag (1974) para análises de tecidos vegetal e solo, respectivamente.

3.13. Análise estatística

Para a análise dos resultados experimentais gerados utilizando superfície de respostas, foi adotado o modelo polinomial quadrático, onde os parâmetros são estimados através de análise de regressão minimizando a soma dos quadrados dos resíduos, obtendo-se a seguinte equação:

$$R = b_0 + \sum_{i=1}^2 b_{1,i} X_i + \sum_{i=1}^2 b_{2,i} X_i^2 + b_{12} X_1 X_2 \quad (7)$$

onde: R é a resposta estimada para a variável dependente de interesse (rendimento, kg.ha⁻¹); X_i (i = 1,2) representa as variáveis independentes (nitrogênio e água); b_{1,i} (i = 1,2) representa os coeficientes da regressão linear; b_{2,i} (i = 1,2) representam os coeficientes da regressão quadrática; b₁₂ é o coeficiente da regressão referente à interação dos dois fatores.

Para verificar se o modelo utilizado explica adequadamente as informações obtidas (teste de significância da função ajustada), foi utilizada uma técnica de análise de variância conforme o modelo em Blocos Casualizados (teste F ao nível de 1 % de probabilidade).

Tabela 6. Técnica de análise de variância conforme o delineamento em blocos casualizados.

Causa da variação	Número de graus de liberdade
Bloco	1
Regressão	5
X_1	1
X_2	1
X_1^2	1
X_2^2	1
X_1X_2	1
Resíduo	13
Desvios da regressão	3
Erro experimental	10
Total	19

No caso da função ajustada ser significativa, o procedimento de análise continua descrevendo-se a superfície através de análise canônica (Myers,1971), obtendo-se gráficos de contornos de respostas. Dessa forma, pode-se obter uma indicação de que a combinação ótima dos fatores em estudo, permitindo a obtenção de inferências econômicas como o cálculo da dose mais econômica para determinadas relações de preço.

Para análise dos parâmetros relacionados à análise de crescimento, foram empregados métodos estatísticos em parcelas subdivididas no tempo.

3.14. O modelo proposto

O modelo do co-seno foi proposto para prever a variação temporal diária do acúmulo de massa de matéria seca relativa total (Wr_i) da parte aérea da planta (Tabela 7, Figura 4 e Anexo 7).

$$Wr_i = \cos^q \left\{ \frac{\pi}{2} (1 - Dr_i) \right\} \quad (q \in R / q > 2) \quad (8)$$

sendo que:

$$Wr_i = \frac{W_i}{W_m} \quad (9)$$

em que W_i e W_m referem-se às massas de matéria seca total, por unidade de área (kg.m^{-2}), da parte aérea no i -ésimo dia após a emergência e no ponto de maturidade fisiológica, respectivamente, e q ao fator de forma da curva de crescimento.

Analogamente, tem-se o modelo do co-seno proposto para prever a variação temporal diária do acúmulo de massa de matéria seca relativa folha (Wf_i) (Tabela 8, Figura 5 e Anexo 8).

$$Wf_i = \cos^p \left\{ \frac{\pi}{2} \left(\frac{Dr_m - Dr_i}{Dr_m} \right) \right\} \quad (p \in \mathbb{R} / p > 2) \quad (10)$$

sendo que:

$$Wf_i = \frac{Wf_i}{W_{mf}} \quad (11)$$

em que Wf_i e W_{mf} referem-se às massas de matéria seca de folha, por unidade de área (kg.m^{-2}), no i -ésimo dia após a emergência e no estágio de massa relativa máxima ($Wf_i = 1$), respectivamente, e p ao fator de forma da curva de crescimento.

Assumiu-se, para derivação do modelo, que no instante da emergência ($Dr=0$), não há acúmulo de matéria seca da parte aérea ($Wr=0$) e a taxa de acúmulo de matéria seca é desprezível ($\frac{dWr}{dDr} = 0$) (Figura 4 e Tabela 7). Sendo assim:

$$\text{se } Dr=0 \Rightarrow Wr=0 \quad (12)$$

e

$$\text{se } Dr=0 \Rightarrow \frac{dWr}{dDr} = 0 \quad (13)$$

Assumiu-se ainda que no ponto de maturidade fisiológica ($Dr=1$), o acúmulo de matéria seca é máximo ($Wr=1$) e a taxa de acúmulo de matéria seca é nula ($\frac{dWr}{dDr} = 0$):

$$\text{se } Dr=1 \Rightarrow Wr=1 \quad (14)$$

e que durante o ciclo da cultura ($0 < Dr < 1$), a variação temporal do acúmulo de matéria seca apresenta comportamento sigmoidal. Existe, portanto, um único ponto de máxima taxa de acúmulo de matéria seca ($\frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0$):

$$\text{se } Dr=1 \Rightarrow \frac{dWr}{dDr} = 0 \quad (15)$$

$$\frac{dWr}{dDr} = \frac{q\pi}{2} \cos^{(q-1)}(Y) \sin(Y) \quad (16)$$

$$\text{se } 0 < Dr < 1 \Rightarrow \frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{d^2Wr}{dDr^2} = \frac{q\pi^2}{4} \left[(q-1) \cos^{(q-2)}(Y) \sin^2(Y) - \cos^q(Y) \right] \quad (18)$$

em que:

$$Y = \frac{\pi}{2}(1 - Dr) \quad (19)$$

$$\text{se } 0 < Dr < Dr(\frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0) \Rightarrow \frac{d^2Wr}{dDr^2} > 0 \quad (20)$$

$$\text{se } Dr(\frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0) < Dr < 1 \Rightarrow \frac{d^2Wr}{dDr^2} < 0 \quad (21)$$

Tabela 7. Assunções para obtenção do modelo do co-seno referente ao acúmulo de massa relativa de matéria seca total de parte aérea (Figura 4 e Anexo 7).

caso	condição	assunção
1	se $Dr=0 \Rightarrow Wr=0$	No instante da emergência ($Dr=0$), não há acúmulo de matéria seca da parte aérea ($Wr=0$) e a taxa de acúmulo de matéria seca é desprezível ($\frac{dWr}{dDr} = 0$)
2	se $Dr=0 \Rightarrow \frac{dWr}{dDr} = 0$	
3	se $Dr=1 \Rightarrow Wr=1$	No ponto de maturidade fisiológica ($Dr=1$), o acúmulo de matéria seca é máximo ($Wr=1$) e a taxa de acúmulo de matéria seca é nula ($\frac{dWr}{dDr} = 0$)
4	se $Dr=1 \Rightarrow \frac{dWr}{dDr} = 0$ ¹	
5	se $0 < Dr < 1 \Rightarrow \frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0$ ²	Durante o ciclo da cultura ($0 < Dr < 1$), a variação temporal do acúmulo de matéria seca apresenta comportamento sigmoideal. Existe, portanto, um único ponto de máxima taxa de acúmulo de matéria seca ($\frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0$)
6	se $0 < Dr < Dr(\frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0) \Rightarrow \frac{d^2Wr}{dDr^2} > 0$	
7	se $Dr(\frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0) < Dr < 1 \Rightarrow \frac{d^2Wr}{dDr^2} < 0$	
¹ $\frac{dWr}{dDr} = \frac{q\pi}{2} \cos^{(q-1)}(Y) \sin(Y)$ ² $\frac{d^2Wr}{dDr^2} = \frac{q\pi^2}{4} [(q-1) \cos^{(q-2)}(Y) \sin^2(Y) - \cos^q(Y)]$ sendo $Y = \frac{\pi}{2}(1 - Dr)$		

Tabela 8. Assunções para obtenção do modelo do co-seno referente ao acúmulo de massa relativa de matéria seca de folha (Figura 5 e Anexo 8).

caso	condição	assunção
1	se $Dr=0 \Rightarrow Wf=0$	No instante da emergência ($Dr=0$), não há acúmulo de matéria seca de folha ($Wf=0$) e a taxa de acúmulo de matéria seca é desprezível ($\frac{dWf}{dDr}=0$)
2	se $Dr=0 \Rightarrow \frac{dWf}{dDr}=0$	
3	se $Dr=1 \Rightarrow Wf<1$	No ponto de maturidade fisiológica ($Dr=1$), o acúmulo de matéria seca de folha é inferior ao máximo ($Wf<1$) e a taxa de acúmulo de matéria seca é negativa ($\frac{dWf}{dDr}<0$)
4	se $Dr=1 \Rightarrow \frac{dWf}{dDr}<0$	
5	se $0<Dr<1 \Rightarrow \frac{d^2Wf}{dDr^2}=0$	Durante o ciclo da cultura ($0<Dr<1$), a variação temporal do acúmulo de matéria seca apresenta comportamento sigmoidal. Existe, portanto, um único ponto de máxima taxa de acúmulo de matéria seca ($\frac{d^2Wf}{dDr^2}=0$)
6	se $0<Dr<Dr(\frac{d^2Wf}{dDr^2}=0) \Rightarrow \frac{d^2Wf}{dDr^2}>0$	
7	se $Dr(\frac{d^2Wf}{dDr^2}=0)<Dr<Dr_m \Rightarrow \frac{d^2Wf}{dDr^2}<0$	
8	se $Dr=Dr_m (Dr_m<1) \Rightarrow Wf=1$	A máxima massa relativa de folha é atingida antes do ponto de maturidade fisiológica, quando a taxa de acúmulo de matéria seca é nula ($\frac{dWf}{dDr}=0$). A partir daí, a função torna-se estritamente decrescente
9	se $Dr=Dr_m (Dr_m<1) \Rightarrow \frac{dWf}{dDr}=0$	
10	se $Dr_m<Dr<1 \Rightarrow \frac{d^2Wf}{dDr^2}<0$	

Para estimativa do fator de forma (q), através de análise de regressão não linear, utilizou-se o método iterativo de Newton-Raphson:

$$q_{k+1} = q_k - \frac{\sum_{i=1}^n (W r_i X_i^{q_k} \ln X_i) - \sum_{i=1}^n (X_i^{2q_k} \ln X_i)}{\sum_{i=1}^n (W r_i X_i^{q_k} \ln^2 X_i) - 2 \sum_{i=1}^n (X_i^{2q_k} \ln^2 X_i)} \quad (22)$$

$$X_i = \cos \left\{ \frac{\pi}{2} (1 - Dr_i) \right\} \quad (23)$$

Utilizou-se o procedimento de anamorfose para calcular o valor inicial do fator de forma q_0 :

$$q_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(Wr_i + X_i)}{\sum_{i=1}^n \ln^2 X_i} \quad (24)$$

Para estimativa do desenvolvimento relativo da cultura referente à taxa máxima de acúmulo de matéria seca total de parte aérea (Dr_1) e ao florescimento (Dr_f), foram derivadas as seguintes equações (Anexo 7):

$$Dr_1 = 1 - \frac{2}{\pi} \arctg\left(\frac{1}{\sqrt{q-1}}\right) \quad (25)$$

$$Dr_f = fDr_1 \quad (0 < f < 1) \quad (26)$$

onde f é o fator empírico de conversão do desenvolvimento relativo referente à taxa máxima de acúmulo de matéria seca ao desenvolvimento relativo da cultura referente ao florescimento.

Analogamente, todo procedimento foi repetido para o modelo do co-seno referente à estimativa do acúmulo de matéria seca de folha (Anexo 8). Sendo assim, para estimativa do desenvolvimento relativo (Dr_2) da cultura referente à taxa máxima de acúmulo de matéria seca de folha (Anexo 8):

$$Dr_2 = Dr_m \left[1 - \frac{2}{\pi} \arctg\left(\frac{1}{\sqrt{p-1}}\right) \right] \quad (27)$$

3.15. Calibração do modelo

Os dados necessários para calibrar o modelo foram obtidos nas cinco coletas para análise de crescimento (estádios fenológicos V3, V4, R5, R7 e R8 – Fancelli, 1992).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Controle de irrigação

Utilizou-se o método conjugado devido os problemas inerentes ao controle de irrigação pelo método do tensiômetro tais como: 1. a grande variabilidade espacial da curva de retenção e dos valores de conteúdo de água correspondentes às leituras diárias da altura de mercúrio quando o solo encontra-se com baixos valores de potencial mátrico, 2. limitação do tensiômetro relativa à faixa de funcionamento referente ao potencial mátrico (cerca de -800 – no mínimo - a 0 cm), 3. histerese, 4. limitação do aparelho relativa a tempo de resposta, e 5. problemas operacionais (instalação do aparelho no campo, leitura da altura de mercúrio), principalmente.

Devido a essas razões, além das limitações metodológicas de se determinar a “capacidade de campo”, o “ponto de murcha permanente” e a “profundidade efetiva do sistema radicular”, procedeu-se o controle de irrigação utilizando o tensiômetro apenas para indicar o momento da irrigação, sendo que a lâmina total de irrigação foi determinada pela evapotranspiração acumulada (tratamento central) estimada pelo método do Tanque Classe A.

Sendo assim, com o tensiômetro procedeu-se o acompanhamento sistemático da variação temporal do potencial mátrico durante o ciclo da cultura de feijão (Figura 6).

Figura 6. Variação temporal do potencial mátrico determinado através de tensiômetros, nas parcelas centrais dos blocos I e II, durante o ciclo da cultura.

4.2. Avaliação do sistema de irrigação

As fertirrigações apresentaram elevados valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) variando de 93,21 a 98,73 %, porém o coeficiente de uniformidade de aplicação variou de 51,36 a 85,51 %.

4.3. Variação temporal da temperatura durante o ciclo da cultura de feijão

A variação da temperatura média diária durante o ciclo fenológico da cultura (Figura 7), compreendido entre a emergência e o ponto de maturidade fisiológica da cultura, é uma importante ferramenta pois reflete o balanço de energia na fase atmosfera e está fortemente correlacionada com o comportamento fisiológico da cultura, permitindo inferir, em última instância, rendimento.

Figura 7. Variação da temperatura média diária durante o ciclo da cultura compreendido entre a emergência e o ponto de maturidade fisiológica da cultura (Tabela 9).

4.4. Desenvolvimento relativo da cultura de feijão

O desenvolvimento relativo da cultura, associado à soma calórica e à fenologia, é de fundamental importância para extrapolação dos resultados. Com esse objetivo foi elaborada a Tabela 9.

Pela Tabela 9 pode-se verificar que a soma calórica para atingir o florescimento foi de 415,3 °C.dia, correspondente ao estágio fenológico R5 e desenvolvimento relativo de 51%; e a soma calórica para o ponto de maturidade fisiológica foi de 818,8 °C.dia, correspondente ao estágio fenológico R9 e desenvolvimento relativo de 100%.

Tabela 9. Temperatura média do ar (T, °C), estágio fenológico (E.F.), soma calórica diária (T-Tb, °C.dia) e acumulada (GD, °C.dia) e desenvolvimento relativo (Dr) da cultura de feijão entre abril e maio de 1995.

Dia	DAE(1)	T, °C	E.F.	T-Tb	GD, °C	Dr
24/Abr	0	20,9	V1	10,9	10,9	0,01
25/Abr	1	21,8		11,8	22,7	0,03
26/Abr	2	21,8		11,8	34,5	0,04
27/Abr	3	22,3		12,3	46,8	0,06
28/Abr	4	22,5		12,5	59,3	0,07
29/Abr	5	22,8		12,8	72,1	0,09
30/Abr	6	23,3		13,3	85,4	0,10
01/Mai	7	23,8		13,8	99,2	0,12
02/Mai	8	22,8	V2	12,8	112,0	0,14
03/Mai	9	22,1		12,1	124,1	0,15
04/Mai	10	21,5		11,5	135,6	0,17
05/Mai	11	21,9		11,9	147,5	0,18
06/Mai	12	21,3		11,3	158,8	0,19
07/Mai	13	22,0		12,0	170,8	0,21
08/Mai	14	21,6		11,6	182,4	0,22
09/Mai	15	21,8		11,8	194,2	0,24
10/Mai	16	18,1	V3	8,1	202,3	0,25
11/Mai	17	17,9		7,9	210,2	0,26
12/Mai	18	19,9		9,9	220,1	0,27
13/Mai	19	21,1		11,1	231,2	0,28
14/Mai	20	21,6		11,6	242,8	0,30
15/Mai	21	22,1		12,1	254,9	0,31
16/Mai	22	22,5		12,5	267,4	0,33
17/Mai	23	23,1		13,1	280,5	0,34
18/Mai	24	19,7		9,7	290,2	0,35
19/Mai	25	17,0		7,0	297,2	0,36
20/Mai	26	15,2		5,2	302,4	0,37
21/Mai	27	16,2		6,2	308,6	0,38
22/Mai	28	16,4		6,4	315,0	0,38
23/Mai	29	17,6		7,6	322,6	0,39
24/Mai	30	18,9	V4	8,9	331,5	0,40
25/Mai	31	19,3		9,3	340,8	0,42
26/Mai	32	17,9		7,9	348,7	0,43
27/Mai	33	19,5		9,5	358,2	0,44
28/Mai	34	19,6		9,6	367,8	0,45
29/Mai	35	18,8		8,8	376,6	0,46
30/Mai	36	18,1		8,1	384,7	0,47
31/Mai	37	16,2		6,2	390,9	0,48

(1) DAE - Dias após a emergência

Tabela 10. Temperatura média do ar (T, °C), estágio fenológico (E.F.), soma calórica diária (T-Tb, °C.dia) e acumulada (GD, °C.dia) e desenvolvimento relativo (Dr) da cultura de feijão em junho de 1995.

Dia	DAE(1)	T, °C	E.F.	T-Tb	GD, °C	Dr
01/Jun	38	17,5		7,5	398,4	0,49
02/Jun	39	18,6		8,6	407	0,50
03/Jun	40	18,3	R5	8,3	415,3	0,51
04/Jun	41	17,5		7,5	422,8	0,52
05/Jun	42	16,3		6,3	429,1	0,52
06/Jun	43	18,0		8,0	437,1	0,53
07/Jun	44	19,4		9,4	446,5	0,55
08/Jun	45	18,8		8,8	455,3	0,56
09/Jun	46	19,7		9,7	465,0	0,57
10/Jun	47	18,4		8,4	473,4	0,58
11/Jun	48	19,5	R6	9,5	482,9	0,59
12/Jun	49	19,1		9,1	492,0	0,60
13/Jun	50	18,6		8,6	500,6	0,61
14/Jun	51	19,1		9,1	509,7	0,62
15/Jun	52	19,1		9,1	518,8	0,63
16/Jun	53	21,6	R7	11,6	530,4	0,65
17/Jun	54	18,8		8,8	539,2	0,66
18/Jun	55	18,8		8,8	548,0	0,67
19/Jun	56	17,3		7,3	555,3	0,68
20/Jun	57	16,5		6,5	561,8	0,69
21/Jun	58	15,9		5,9	567,7	0,69
22/Jun	59	19,1		9,1	576,8	0,70
23/Jun	60	19,6		9,6	586,4	0,72
24/Jun	61	19,7		9,7	596,1	0,73
25/Jun	62	18,1		8,1	604,2	0,74
26/Jun	63	19,4		9,4	613,6	0,75
27/Jun	64	20,7		10,7	624,3	0,76
28/Jun	65	21,1	R8	11,1	635,4	0,78
29/Jun	66	18,5		8,5	643,9	0,79
30/Jun	67	17,3		7,3	651,2	0,80

(1) DAE - Dias após a emergência

Tabela 11. Temperatura média do ar (T, °C), estágio fenológico (E.F.), soma calórica diária (T-Tb, °C.dia) e acumulada (GD, °C.dia) e desenvolvimento relativo (Dr) da cultura de feijão em julho de 1995.

Dia	DAE(1)	T, °C	E.F.	T-Tb	GD, °C	Dr
01/Jul	68	18,6		8,6	659,8	0,81
02/Jul	69	19,8		9,8	669,6	0,82
03/Jul	70	20,7		10,7	680,3	0,83
04/Jul	71	19,8		9,8	690,1	0,84
05/Jul	72	19,9		9,9	700,0	0,85
06/Jul	73	22,3		12,3	712,3	0,87
07/Jul	74	22,7		12,7	725,0	0,89
08/Jul	75	15,3		5,3	730,3	0,89
09/Jul	76	16,1		6,1	736,4	0,90
10/Jul	77	19		9,0	745,4	0,91
11/Jul	78	17,6		7,6	753,0	0,92
12/Jul	79	18,7		8,7	761,7	0,93
13/Jul	80	19,9		9,9	771,6	0,94
14/Jul	81	20,5		10,5	782,1	0,96
15/Jul	82	21,6		11,6	793,7	0,97
16/Jul	83	23,2		13,2	806,9	0,99
17/Jul	84	21,9	R9	11,9	818,8	1,00

(1) DAE - Dias após a emergência

4.5. Determinações referentes ao solo e à planta

Tabela 12. Datas, estádios fenológicos (E.F.) e dias após a emergência (DAE) referentes às coletas para análise química do solo (AQS), análise química da planta (AQP), análise de crescimento da planta (ACP), e análise fitotécnica (AF).

Data	E.F.	DAE	AQS	AQP	ACP	AF
18/04/95	V 0	-	1			
24/04/95	V 1	0				1
02/05/95	V 2	8				2
10/05/95	V 3	16		1 (h, f)	1	3
22/05/95		28	2			
24/05/95	V 4	30		2 (h, f)	2	4
03/06/95	R 5	40				5
05/06/95		42	3			
07/06/95		44		3 (h, f, bf)	3	
10/06/95		47	4			
11/06/95	R 6	48				6
15/06/95	R 7	52	5			
19/06/95		56				7
21/06/95		58		4 (h, f, bf, v)	4	
28/06/95	R 8	65				8
03/07/95		70	6			
05/07/95		72		5 (h, f, v)	5	
17/07/95	R 9	84				
19/07/95		86		6 (h, f, v)	6	
07/08/95	Colheita	105	7	7 (g)	7	

AQS - pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio e alumínio, e nitrogênio total
 AQP - nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, e enxofre no feijoeiro: haste (h), folha (f), botão floral (bf), vagem (v) e grão (g)

ACP - área foliar (L^2), massa (M) de matéria seca e área foliar específica ($L^2.M^{-1}$), com conseqüente determinação do índice de área foliar ($L^2.L^{-2}$) e taxa de crescimento de área foliar ($L^2.T^{-1}$)

AF - fenologia e estande de plantas

4.5.1. Variabilidade espacial e variação temporal dos atributos químicos do solo

Para propósitos práticos, pode-se considerar que os atributos químicos do solo não apresentaram variação durante o período de condução do experimento.

Por outro lado, a variabilidade espacial observada pode ser considerada desprezível, visto que os problemas metodológicos associados são suficientes para explicar a variação observada, tais como tamanho da amostra, variação do conteúdo de

água da amostra e do tempo entre a coleta e a análise, bem como os problemas inerentes aos laboratórios.

Figura 8. Variação temporal do pH do solo, referente às sete épocas de coleta (Tabela 12), durante o período de condução do experimento.

Figura 9. Variação temporal do matéria orgânica (%) do solo, referente às sete épocas de coleta (Tabela 12), durante o período de condução do experimento.

Figura 10. Variação temporal do teor de fósforo ($\mu\text{g.cm}^{-3}$) do solo, referente às sete épocas de coleta (Tabela 12), durante o período de condução do experimento.

Figura 11. Variação temporal do teor de potássio ($\text{meq}/100\text{cm}^3$) do solo, referente às sete épocas de coleta (Tabela 12), durante o período de condução do experimento.

Figura 12. Variação temporal do teor de cálcio (meq/100 cm³) do solo, referente às sete épocas de coleta (Tabela 12), durante o período de condução do experimento.

Figura 13. Variação temporal do teor de magnésio (meq/100 cm³) do solo, referente às sete épocas de coleta (Tabela 12), durante o período de condução do experimento.

Figura 14. Variação temporal do teor de hidrogênio e alumínio (meq/100 cm³) do solo, referente às sete épocas de coleta (Tabela 12), durante o período de condução do experimento.

Figura 15. Variação temporal de nitrogênio total (%) do solo, referente às sete épocas de coleta (Tabela 12), durante o período de condução do experimento.

4.5.2. Massa de matéria seca de folha

A variação da massa de matéria seca de folha, em função do desenvolvimento relativo da cultura, pôde ser descrita pelo modelo polinomial de terceiro grau para todos os tratamentos. A obtenção dessa relação funcional foi fundamental para estimativa do índice de área foliar a cada instante do ciclo da cultura.

Tabela 13. Modelo polinomial de terceiro grau relativo à variação da massa de matéria seca de folha (Mf, g), em função do desenvolvimento relativo (Dr) da cultura referente a todos os tratamentos (Figura 16).

Tratamento	Modelo	r ²
F1	$Mf = -80,84.Dr^3 + 107,46.Dr^2 - 14,992.Dr$	0,924**
F2	$Mf = -122,89.Dr^3 + 147,50.Dr^2 - 17,705.Dr$	0,824*
F3	$Mf = -116,11.Dr^3 + 149,85.Dr^2 - 26,894.Dr$	0,889**
F4	$Mf = -145,39.Dr^3 + 183,68.Dr^2 - 30,081.Dr$	0,992**
C1	$Mf = -443,64.Dr^3 + 189,40.Dr^2 - 33,864.Dr$	0,946**
C2	$Mf = -146,49.Dr^3 + 189,14.Dr^2 - 38,377.Dr$	0,983**
A1	$Mf = -132,69.Dr^3 + 173,29.Dr^2 - 31,603.Dr$	0,964**
A2	$Mf = -90,10.Dr^3 + 110,95.Dr^2 - 10,363.Dr$	0,852*
A3	$Mf = -158,66.Dr^3 + 206,00.Dr^2 - 40,018.Dr$	0,966**
A4	$Mf = -133,21.Dr^3 + 175,85.Dr^2 - 30,414.Dr$	0,942**

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($r_{5-0,05}=0,754$)

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($r_{5-0,01}=0,874$)

Figura 16. Variação da massa de matéria seca de folha (g) nos diferentes tratamentos, em função do desenvolvimento relativo da cultura (período compreendido entre os estádios V3 e R8 – período que houve determinação de massa de matéria seca de folha) (Tabela 13).

4.5.3. Massa de matéria seca total

A variação da massa de matéria seca total, em função do desenvolvimento relativo da cultura, pôde ser descrita pelo modelo polinomial de terceiro grau para todos os tratamentos. A obtenção dessa relação funcional é fundamental para estimativa da marcha de absorção de nutrientes.

Tabela 14. Modelo polinomial de terceiro grau relativo à variação da massa de matéria seca total (MST, g), em função do desenvolvimento relativo (Dr) da cultura referente a todos os tratamentos (Figura 17).

Tratamento	Modelo	r ²
F1	MST = -69,42.Dr ³ + 186,45.Dr ² - 41,269.Dr	0,989**
F2	MST = -135,24.Dr ³ + 267,69.Dr ² - 50,933.Dr	0,983**
F3	MST = - 182,74.Dr ³ + 320,19.Dr ² - 77,029.Dr	0,934**
F4	MST = - 188,97.Dr ³ + 345,55.Dr ² - 77,095.Dr	0,997**
C1	MST = -236,35.Dr ³ + 424,97.Dr ² - 103,41.Dr	0,974**
C2	MST = - 143,23.Dr ³ + 334,92.Dr ² - 85,743.Dr	0,980**
A1	MST = - 174,46.Dr ³ + 334,56.Dr ² - 81,473.Dr	0,976**
A2	MST = + 47,124.Dr ³ + 61,98.Dr ² - 3,394.Dr	0,993**
A3	MST = - 289,13.Dr ³ + 487,34.Dr ² - 123,360.Dr	0,945**
A4	MST = - 148,60.Dr ³ + 316,38.Dr ² - 74,756.Dr	0,985**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade (r_{5-0,01}=0,874)

Figura 17. Variação da massa de matéria seca total de parte aérea (g) nos diferentes tratamentos, em função do desenvolvimento relativo da cultura (período compreendido entre os estádios V3 e R8 – período que houve determinação de massa de matéria seca de folha) (Tabela 14).

4.5.4. Teor dos macronutrientes na parte aérea do feijoeiro

A variação temporal do teor (%) de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na folha, haste, botão floral, vagem, e grão permite estimar a extração pela parte aérea do feijoeiro.

O ideal seria a determinação da variação temporal do teor dos macronutrientes na raiz, no intuito de possibilitar a estimativa da extração total pela cultura. Porém, cabe salientar que além da limitação metodológica (processo de coleta de raiz), no caso da cultura de feijão o sistema radicular não sai da área. Apesar de apenas o grão ser normalmente exportado da área, justifica-se o acompanhamento dos demais elementos na parte aérea no intuito de fornecer subsídios referentes à incidência de pragas e doenças e a possibilidade de se estimar a extração total conhecendo-se o índice de colheita e o valor médio desses elementos na raiz.

Figura 18. Variação temporal do teor médio de nitrogênio (N, %) na folha do feijoeiro nos diferentes tratamentos entre os dias 10 de maio (16 dias após a emergência) e 19 de julho de 1995 (86 dias após a emergência) (Fonte: Laboratório de Análise de Plantas do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo).

Figura 19. Variação temporal do teor médio de fósforo (P, %) na folha do feijoeiro nos diferentes tratamentos entre os dias 10 de maio (16 dias após a emergência) e 19 de julho de 1995 (86 dias após a emergência) (Fonte: Laboratório de Análise de Plantas do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo).

Figura 20. Variação temporal do teor médio de potássio (K, %) na folha do feijoeiro nos diferentes tratamentos entre os dias 10 de maio (16 dias após a emergência) e 19 de julho de 1995 (86 dias após a emergência) (Fonte: Laboratório de Análise de Plantas do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo).

Figura 21. Variação temporal do teor médio de cálcio (Ca, %) na folha do feijoeiro nos diferentes tratamentos entre os dias 10 de maio (16 dias após a emergência) e 19 de julho de 1995 (86 dias após a emergência) (Fonte: Laboratório de Análise de Plantas do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo).

Figura 22. Variação temporal do teor médio de magnésio (Mg, %) na folha do feijoeiro nos diferentes tratamentos entre os dias 10 de maio (16 dias após a emergência) e 19 de julho de 1995 (86 dias após a emergência) (Fonte: Laboratório de Análise de Plantas do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo).

Figura 23. Variação temporal do teor médio de enxofre (S, %) na folha do feijoeiro nos diferentes tratamentos entre os dias 10 de maio (16 dias após a emergência) e 19 de julho de 1995 (86 dias após a emergência) (Fonte: Laboratório de Análise de Plantas do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo).

Os teores de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio foram coerentes com os valores apresentados por Malavolta et al. (1989) (citados por Dourado Neto & Fancelli, 1997) referentes à cultura de feijão: 3,0 e 4,5%; 0,2 e 0,3%; 2,0 e 2,5%; e 0,4 e 0,7%, respectivamente. Porém, o cálcio apresentou valores médios superiores a e o enxofre valores médios inferiores aos citados por Malavolta et al. (1989) (citados por Dourado Neto & Fancelli, 1997): 1,5 e 2,0% e 0,5 e 1,0%, respectivamente.

Cabe salientar que as estimativas de extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, referentes à parte aérea da cultura de feijão no período de 16 a 86 dias após a emergência, utilizando o modelo do co-seno, apresentou resultados precisos e exatos.

Figura 24. Comparação entre os valores estimados de extração total, referente à parte aérea (exceto os grãos), de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.

Tabela 15. Teor (média dos dez tratamentos) de nitrogênio (%) na folha, na haste, no botão floral, na vagem e na parte aérea total da cultura de feijão, em seis diferentes épocas de amostragem.

DAE ¹	Folha	Haste	Botão floral	Vagem	Total
N, %					
16	3,67	1,64	0,00	0,00	3,08
30	3,51	1,49	0,00	0,00	2,92
44	2,80	0,96	4,04	0,00	2,06
58	3,79	0,98	3,56	4,51	2,33
72	3,23	0,73	0,00	2,56	2,10
86	2,85	0,64	0,00	2,38	2,08
Massa, g/5plantas					
16	1,40	0,57	0,00	0,00	1,96
30	6,10	2,55	0,00	0,00	8,65
44	13,89	9,63	0,18	0,00	23,70
58	15,57	19,36	0,88	1,14	36,96
72	18,43	22,87	0,00	22,29	63,59
86	9,92	16,83	0,00	56,22	82,97

¹ DAE: Dias após a emergência

Tabela 16. Teor (média dos dez tratamentos) de fósforo (%) na folha, na haste, no botão floral, na vagem e na parte aérea total da cultura de feijão, em seis diferentes épocas de amostragem.

DAE ¹	Folha	Haste	Botão floral	Vagem	Total
P, %					
16	0,31	0,18	0,00	0,00	0,27
30	0,34	0,21	0,00	0,00	0,30
44	0,33	0,19	0,66	0,00	0,27
58	0,36	0,15	0,55	0,71	0,27
72	0,29	0,14	0,00	0,41	0,28
86	0,26	0,09	0,00	0,35	0,29
Massa, g/5plantas					
16	1,40	0,57	0,00	0,00	1,96
30	6,10	2,55	0,00	0,00	8,65
44	13,89	9,63	0,18	0,00	23,70
58	15,57	19,36	0,88	1,14	36,96
72	18,43	22,87	0,00	22,29	63,59
86	9,92	16,83	0,00	56,22	82,97

¹ DAE: Dias após a emergência

Tabela 17. Teor (média dos dez tratamentos) de potássio (%) na folha, na haste, no botão floral, na vagem e na parte aérea total da cultura de feijão, em seis diferentes épocas de amostragem.

DAE ¹	Folha	Haste	Botão floral	Vagem	Total
K, %					
16	2,73	3,71	0,00	0,00	3,01
30	2,68	4,02	0,00	0,00	3,08
44	2,57	2,81	3,17	0,00	2,67
58	2,98	2,01	3,25	3,12	2,48
72	2,44	1,63	0,00	2,37	2,13
86	2,08	1,58	0,00	2,31	2,13
Massa, g/5plantas					
16	1,40	0,57	0,00	0,00	1,96
30	6,10	2,55	0,00	0,00	8,65
44	13,89	9,63	0,18	0,00	23,70
58	15,57	19,36	0,88	1,14	36,96
72	18,43	22,87	0,00	22,29	63,59
86	9,92	16,83	0,00	56,22	82,97

¹ DAE: Dias após a emergência

Tabela 18. Teor (média dos dez tratamentos) de cálcio (%) na folha, na haste, no botão floral, na vagem e na parte aérea total da cultura de feijão, em seis diferentes épocas de amostragem.

DAE ¹	Folha	Haste	Botão floral	Vagem	Total
Ca, %					
16	1,75	1,74	0,00	0,00	1,75
30	2,31	1,71	0,00	0,00	2,13
44	2,64	1,46	1,90	0,00	2,15
58	3,88	1,32	1,21	1,33	2,40
72	4,02	1,18	0,00	1,04	1,95
86	6,48	1,73	0,00	0,90	1,73
Massa, g/5plantas					
16	1,40	0,57	0,00	0,00	1,96
30	6,10	2,55	0,00	0,00	8,65
44	13,89	9,63	0,18	0,00	23,70
58	15,57	19,36	0,88	1,14	36,96
72	18,43	22,87	0,00	22,29	63,59
86	9,92	16,83	0,00	56,22	82,97

¹ DAE: Dias após a emergência

Tabela 19. Teor (média dos dez tratamentos) de magnésio (%) na folha, na haste, no botão floral, na vagem e na parte aérea total da cultura de feijão, em seis diferentes épocas de amostragem.

DAE ^I	Folha	Haste	Botão floral	Vagem	Total
Mg, %					
16	0,53	0,33	0,00	0,00	0,47
30	0,57	0,36	0,00	0,00	0,51
44	0,56	0,39	0,37	0,00	0,49
58	0,74	0,34	0,31	0,38	0,51
72	0,56	0,33	0,00	0,41	0,42
86	0,54	0,58	0,00	0,37	0,43
Massa, g/5plantas					
16	1,40	0,57	0,00	0,00	1,96
30	6,10	2,55	0,00	0,00	8,65
44	13,89	9,63	0,18	0,00	23,70
58	15,57	19,36	0,88	1,14	36,96
72	18,43	22,87	0,00	22,29	63,59
86	9,92	16,83	0,00	56,22	82,97

I DAE: Dias após a emergência

Tabela 20. Teor (média dos dez tratamentos) de enxofre (%) na folha, na haste, no botão floral, na vagem e na parte aérea total da cultura de feijão, em seis diferentes épocas de amostragem.

DAE ¹	Folha	Haste	Botão floral	Vagem	Total
S, %					
16	0,20	0,49	0,00	0,00	0,28
30	0,22	0,50	0,00	0,00	0,30
44	0,22	0,46	0,41	0,00	0,32
58	0,32	0,40	0,36	0,26	0,36
72	0,28	0,40	0,00	0,24	0,31
86	0,30	0,40	0,00	0,28	0,31
Massa, g/5plantas					
16	1,40	0,57	0,00	0,00	1,96
30	6,10	2,55	0,00	0,00	8,65
44	13,89	9,63	0,18	0,00	23,70
58	15,57	19,36	0,88	1,14	36,96
72	18,43	22,87	0,00	22,29	63,59
86	9,92	16,83	0,00	56,22	82,97

¹ DAE: Dias após a emergência

4.5.5. Índice de área foliar

O índice de área foliar foi calculado em função dos resultados experimentais (Tabela 21) e comparado com os valores estimados a partir do modelo do co-seno (Figura 25).

Para o cálculo do índice de área foliar ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$), multiplicou-se a massa observada média de matéria seca de folhas (Mf_o , g/planta) pela área foliar específica (Afe , cm^2/g) e pela população de plantas (P , plantas. m^{-2}):

$$IAF = \frac{Mf_o \cdot Afe \cdot P}{10000} \quad (28)$$

Para o cálculo do índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$), multiplicou-se a massa estimada média de matéria seca de folhas (Mf_e , g/planta) pela área foliar específica (Afe , cm^2/g) e pela população de plantas (P , plantas. m^{-2}):

$$IAF = \frac{Mf_e.Afe.P}{10000} \tag{29}$$

Tabela 21. Área foliar total ($cm^2/planta$), área foliar específica ($cm^2.g^{-1}$) e índice de área foliar ($m^2.m^{-2}$), aos 16, 30, 44, 58 e 72 dias após a emergência, referentes aos dez tratamentos.

P ¹	F1	F2	F3	F4	A1	A2	A3	A4	C1	C2	Média	IAF
pl/m ²	23	23,2	24,5	24,4	21,2	20,4	22	23,4	24	24,1	23,02	
DAE ²	área foliar, $cm^2/planta$											
16	5,36	6,45	4,29	4,23	5,83	6,14	5,43	5,50	4,07	6,09	5,34	0,012
30	453,13	348,18	540,40	550,60	246,94	409,16	291,32	454,39	361,29	837,98	449,34	1,034
44	882,67	1.847,66	888,31	1.373,18	709,59	1.267,32	721,97	1.280,12	2.137,01	1.433,04	1.254,09	2,887
58	1.919,08	1.621,30	1.368,93	2.674,61	1.497,84	1.740,68	1.043,64	1.666,59	899,25	1.400,72	1.583,27	3,645
72	1.627,17	888,42	759,55	1.444,15	1.281,70	1.684,01	1.053,96	1.070,12	1.181,46	1.192,60	1.218,31	2,805
DAE	área foliar específica, cm^2/g											
16	18,71	18,71	18,71	18,71	18,71	18,71	18,71	18,71	18,71	18,71	18,71	
30	467,08	315,06	442,22	356,28	230,98	325,39	254,51	386,00	369,77	601,56	374,88	
44	362,47	522,79	473,57	501,01	294,14	410,70	277,30	423,22	728,14	527,09	452,04	
58	797,97	472,19	612,98	671,06	488,76	635,77	334,35	540,94	239,46	356,23	514,97	
72	533,16	306,42	228,59	420,38	339,20	554,15	258,65	258,83	292,26	252,27	344,39	

1 População de plantas (plantas/m²)

2 DAE: Dias após a emergência

Figura 25. Comparação entre os valores de índice de área foliar calculados e estimados pelo modelo do co-seno (Tabela 21).

A comparação entre os valores de índice de área foliar demonstraram que os estimados, utilizando o modelo do co-seno, foram subestimados em média 10,46%, em relação aos valores calculados (Figura 25).

4.6. Métodos de estimativa de rendimento

A estimativa de rendimento pelos dois métodos demonstrou que há erros significativos quando comparam os tratamentos, apesar da média geral (rendimentos de 2.358,7 e 2896,1 kg.ha⁻¹ correspondentes aos métodos 1 e 2, respectivamente) apresentar diferença de 537,4 kg.ha⁻¹ (Tabela 22 e Tabela 25), sendo que o método 2 superestimou o rendimento, em média 16,95 %, em relação ao método 1 (análise de relação dos dez valores médios de rendimento estimados pelos dois métodos referentes a todos os tratamentos analisados em conjunto).

Figura 26. Estimativa de rendimento pela pesagem dos grãos (Método 1) e pela determinação dos componentes de produção de grãos (Método 2).

4.6.1. Método de estimativa de rendimento pela pesagem dos grãos

A análise de variância relativa ao método de estimativa de rendimento pela pesagem dos grãos demonstrou que não houve diferença significativa entre as médias dos blocos (Tabela 23), bem como demonstrou que o modelo polinomial quadrático pode ser utilizado para obtenção da relação funcional entre o rendimento da cultura de feijão e a adubação nitrogenada e o suprimento relativo da demanda evapotranspiratória (Tabela 23 e Tabela 24).

Tabela 22. Conteúdo de água (base úmida) no grão (g/100g) e rendimento obtido nos diferentes tratamentos (método de estimativa de rendimento pela pesagem dos grãos).

Tratamento	N, kg.ha ⁻¹	Demanda evapotranspiratória, %	Conteúdo de água ¹ , %	Rendimento ² , g.m ⁻²
BLOCO I				
F1	45	50	12,58	213,3
F2	45	150	11,87	187,4
F3	135	50	11,06	343,2
F4	135	150	11,24	245,6
C1	90	100	12,25	287,4
C2	90	100	10,17	263,6
A1	0	100	10,95	350,2
A2	180	100	11,71	134,6
A3	90	200	11,16	146,1
A4	90	100	11,86	239,5
BLOCO II				
F1	45	50	12,53	226,4
F2	45	150	11,55	192,5
F3	135	50	11,61	226,1
F4	135	150	11,84	210,0
C1	90	100	10,78	256,9
C2	90	100	11,45	290,7
A1	0	100	11,24	207,6
A2	180	100	12,15	212,4
A3	90	200	11,51	190,4
A4	90	100	11,41	293,5
Tratamento	N, kg.ha ⁻¹	Demanda evapotranspiratória, %	Rendimento médio ² , kg.ha ⁻¹	
F1	45	50	2.198,7	
F2	45	150	1.899,4	
F3	135	50	2.846,7	
F4	135	150	2.278,0	
C1	90	100	2.721,4	
C2	90	100	2.771,5	
A1	0	100	2.789,4	
A2	180	100	1.734,6	
A3	90	200	1.682,4	
A4	90	100	2.664,9	
Rendimento médio, kg.ha ⁻¹			2.358,7	

1 Conteúdo de água no ato da pesagem dos grãos

2 Conteúdo de água corrigido para 14%

Tabela 23. Análise de variância relativa ao método de estimativa de rendimento pela pesagem dos grãos (Método 1).

Causa da variação	Graus de Liberdade	S.Q.	Q.M.	F
Bloco	1	5.439,8	5.439,8	0,002 ^{ns}
Regressão	5	10.890.224,7	2.178.044,9	6,071 ^{**}
Resíduo	13	4.664.206,5	358.785,1	
Total	19	6.226.018,2		

ns Não significativo ao nível de 1% de probabilidade ($F_{0,01}=0,00004$)

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($F_{0,01}=4,69$)

Tabela 24. Parâmetros empíricos referentes ao modelo polinomial quadrático correspondentes ao método de estimativa de rendimento pela pesagem dos grãos (Método 1)

Parâmetro	Valor estimado	Erro padrão
b_0	2.551,22996	1.072,4761
$b_{1,1}$	1,60472	14,0575
$b_{1,2}$	-0,00289	6,3052
$b_{2,1}$	-0,00499	15,7057
$b_{2,2}$	-6,97582	2.5041,6197
b_{12}	0,00594	0,0708
r	0,501*	

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($r_{0,005}=0,433$)

Fonte: WEISS & HASSETT (1982), adaptado de D. B. Owen, Handbook of Statistical Tables, Addison-Wesley, 1962¹.

4.6.2. Método de estimativa de rendimento pela determinação dos componentes de produção de grãos

A análise de variância relativa ao método de estimativa de rendimento pela determinação dos componentes de produção de grãos demonstrou que não houve

¹ WEISS, N.; HASSETT, M. Introductory statistics. Addison-Wesley Publishing Company, 1982.

diferença significativa entre as médias dos blocos (Tabela 26), bem como demonstrou que o modelo polinomial quadrático pode ser utilizado para obtenção da relação funcional entre o rendimento da cultura de feijão e a adubação nitrogenada e o suprimento relativo da demanda evapotranspiratória (Tabela 26 e Tabela 27).

Tabela 25. Valores médios de plantas por unidade de área (P, plantas/m²), vagens totais (Vt, vagens/planta) e chochas (Vc, vagens/planta) por planta, sementes por vagem (sementes/vagem), massa da matéria seca de 200 sementes (M₂₀₀, g) e de uma semente (Ms, g/semente) e rendimentos obtido nos diferentes tratamentos (R, g.m⁻²), e corrigindo o conteúdo de água – base úmida - do grão para 14% (Rm, kg.ha⁻¹) (método de estimativa de rendimento pela pesagem dos grãos).

Tratamento	P pl.m ⁻²	Vt vg/pl	Vc vg/pl	S s/vg	M ₂₀₀ g/200s	Ms g/s	R g.m ⁻²
BLOCO I							
F1	23,2	11,39	1,83	4,5	34,14	0,171	198,0
F2	24,0	17,85	3,23	5,0	34,08	0,170	347,5
F3	24,0	8,76	2,57	4,6	31,12	0,156	122,6
F4	25,6	12,65	2,29	4,9	35,24	0,176	267,1
C1	19,2	10,80	2,20	5,5	37,22	0,186	196,5
C2	17,6	18,97	2,91	5,2	36,26	0,181	310,0
A1	23,0	13,76	3,17	4,8	37,57	0,188	255,3
A2	22,4	17,07	2,93	4,8	36,58	0,183	323,5
A3	24,0	16,00	1,55	5,2	34,82	0,174	362,4
A4	20,0	14,33	2,50	5,3	38,42	0,192	281,2
BLOCO II							
F1	25,2	14,09	1,73	4,7	33,33	0,167	283,7
F2	24,8	18,93	1,73	4,8	35,64	0,178	427,8
F3	22,8	10,11	0,53	4,8	34,27	0,171	210,6
F4	22,4	21,22	2,44	5,0	37,22	0,186	455,2
C1	23,2	15,00	2,27	4,9	38,71	0,194	324,5
C2	23,2	16,67	2,00	5,1	36,07	0,180	366,8
A1	24,4	11,46	1,08	4,9	33,50	0,167	243,8
A2	23,4	11,23	0,92	5,2	35,25	0,176	257,0
A3	24,0	11,00	1,31	4,6	33,47	0,167	209,9
A4	24,0	14,24	2,18	5,3	39,41	0,197	348,8
Tratamento	N, kg.ha ⁻¹		Demanda evapotranspiratória, %			Rm ¹ kg.ha ⁻¹	
F1	45		50			2.408,6	
F2	45		150			3.876,2	
F3	135		50			1.666,0	
F4	135		150			3.611,7	
C1	90		100			2.604,9	
C2	90		100			3.383,7	
A1	0		100			2.495,2	
A2	180		100			2.902,6	
A3	90		200			2.861,7	
A4	90		100			3.150,3	

¹ Rendimento médio geral: 2.896,1 kg.ha⁻¹

Tabela 26. Análise de variância relativa ao método de estimativa de rendimento pela determinação dos componentes de produção de grãos (Método 2).

Causa da variação	Graus de Liberdade	S.Q.	Q.M.	F
Bloco	1	107.638,9	107.638,9	0,022 ^{ns}
Regressão	5	23.958.012,0	4.791.602,4	5,679 ^{**}
Resíduo	13	10.968.758,0	843.750,6	
Total	19	12.989.254,0		

ns Não significativo ao nível de 1% de probabilidade ($F_{0,01}=0,00004$)

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($F_{0,01}=4,69$)

Tabela 27. Parâmetros empíricos referentes ao modelo polinomial quadrático correspondentes ao método de estimativa de rendimento pela determinação dos componentes de produção de grãos (Método 2)

Parâmetro	Valor estimado	Erro padrão
b_0	2.890,37276	1.644,66509
$b_{1,1}$	-3,99273	21,55749
$b_{1,2}$	-0,06497	4,11168
$b_{2,1}$	-0,02227	1,16794
$b_{2,2}$	-0,02521	0,76897
b_{12}	0,01049	0,16420
r	0,394 ^{**}	

** Significativo ao nível de 10% de probabilidade ($r_{0,10}=0,369$)

Fonte: WEISS & HASSETT (1982), adaptado de D. B. Owen, Handbook of Statistical Tables, Addison-Wesley, 19621

4.7. Relação funcional entre rendimento, nitrogênio e água

A relação funcional entre rendimento, nitrogênio e água (suprimento relativo da demanda evapotranspiratória) foi obtida empiricamente através de análise de regressão não linear pelo método dos quadrados mínimos minimizando a soma dos quadrados dos erros (entre os valores observados e os estimados pelo modelo) para o método 1 de estimativa de rendimento:

$$R = a + b \cdot \ln(N) + c \cdot \ln(N)^2 + d \cdot \ln(N)^3 + e \cdot A + fA^2 + gA^3 \quad (30)$$

em que $a = -33.021,672$; $b = 17.066,594$; $c = 1.887,1729$; $d = -2,7678454$; $e = -70,485702$; $f = 0,62973884$ e $g = -0,0018400636$ ($r = 0,778$).

Figura 27. Relação funcional entre rendimento (estimado pelo método 1), nitrogênio e água (suprimento relativo da demanda evapotranspiratória) (Tabela 3).

Para o método 2, temos que:

$$R = a + b \cdot N + c \cdot N^2 + d \cdot N^3 + e \cdot N^4 + f \cdot N^5 + g \cdot A + hA^2 \quad (31)$$

em que $a = -1.102,6863$; $b = 92,413019$; $c = -2,3515207$; $d = 0,022906325$; $e = -9,5003107 \cdot 10^{-5}$; $f = 1,3814322 \cdot 10^{-7}$; $g = 54,891417$ e $h = 0,18912583$ ($r = 0,723$).

Figura 28. Relação funcional entre rendimento (estimado pelo método 2), nitrogênio e água (suprimento relativo da demanda evapotranspiratória) (Tabela 3).

Pela Figura 27 e pela Figura 28 verifica-se que há uma tendência de redução de rendimento para altos valores de adubação nitrogenada e de água.

Isso pode ser explicado pelo fato de que altos valores de nitrogênio associado com época tardia (após o R5) de aplicação favorecem o aparecimento de doenças, o que de fato ocorreu no experimento (houve incidência de mancha angular – *Phaeoisariopsis griseola* - no final do ciclo).

Por outro lado, o excesso de água causa redução de rendimento devido ao problema de oxigenação do ar do solo na camada explorada pelo sistema radicular. A pressão parcial de oxigênio diminui na zona radicular devido ao excesso de água, que por sua vez diminui substancialmente a difusão do oxigênio do ar da fase atmosfera para o ar da fase solo, associado à demanda pelo processo respiratório tanto do feijoeiro quanto da fase biótica (outros organismos vivos) existente no solo. Além disso, pela mesma razão, a pressão parcial de dióxido de carbono aumenta.

Cabe salientar que empiricamente inúmeros modelos podem ser ajustados para representar a relação funcional entre os fatores de produção nitrogênio e água e rendimento da cultura de feijão. Porém, estudos mais elaborados relativos à dinâmica do nitrogênio no sistema agrícola necessita, a rigor, técnicas mais exatas (nitrogênio marcado, por exemplo).

4.8. O modelo do co-seno

A análise de variância referente ao acúmulo de matéria seca de folha (Tabela 28 e Tabela 30) e total (Tabela 29 e Tabela 30), nos diferentes tratamentos, demonstrou que o modelo proposto pode ser utilizado para representar a variação temporal do acúmulo de matéria seca relativa. No intuito de extrapolar os resultados obtidos, com a finalidade de planejamento, utilizou-se o desenvolvimento relativo da cultura como variável independente.

A importância de se modelar a variação temporal do acúmulo de matéria seca está na possibilidade de se extrapolar os resultados para fins de planejamento e de manejo.

No que diz respeito ao planejamento, o modelo do co-seno referente ao acúmulo de matéria de folha permite estimar a variação temporal do índice de área foliar, a qual pode ser utilizada para estimar evapotranspiração máxima da cultura de feijão a partir do conhecimento da evapotranspiração de referência, o que seria motivo de um estudo específico, em substituição ao habitual procedimento de se utilizar o coeficiente de cultura.

Em função do conhecimento da evapotranspiração no período crítico, que por sua vez depende do índice de área foliar, o qual está associado à população de plantas; pode-se determinar a época de semeadura que acarreta maior probabilidade da chuva atender a demanda evapotranspiratória. Sendo assim, o modelo proposto poderia ser utilizado para esse propósito prático.

No que diz respeito à aplicabilidade do modelo em manejo, o mesmo pode indicar a melhor época de adubação em cobertura em função da taxa máxima de acúmulo de matéria seca total, bem como da taxa máxima de absorção de nutrientes.

Tabela 28. Análise de variância (SQR: soma dos quadrados da regressão referente ao modelo do co-seno; SQe: soma dos quadrados dos erros; SQt: soma dos quadrados totais; GLr: graus de liberdade da regressão; GLe: graus de liberdade do erro; GLt: graus de liberdade totais; QMr: quadrado médio da regressão; QMe: quadrado médio do erro; e F: relação entre QMr e QMe – valor F) e de regressão (q: fator de forma da curva de acúmulo de matéria seca relativa de folha - modelo do co-seno; e r: coeficiente de correlação- Figura 29) referente ao acúmulo de matéria seca de folha nos diferentes tratamentos (Tabela 3).

Parâmetros	Tratamento									
	F1	F2	F3	F4	C1	C2	A1	A2	A3	A4
Análise de variância										
SQR	1,9691	1,7835	0,7843	1,8537	1,4974	1,4209	1,3362	1,7334	1,1370	1,5251
SQe	0,0465	0,0936	0,1443	0,0812	0,0510	0,0122	0,0617	0,0067	0,1041	0,0512
SQt	2,0156	1,8771	0,9287	1,9349	1,5484	1,4331	1,3979	1,7401	1,2411	1,5763
GLr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GLe	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5
GLt	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6
QMr	1,9691	1,7835	0,7844	1,8537	1,4974	1,4209	1,3362	1,7334	1,1370	1,5251
QMe	0,0093	0,0187	0,0289	0,0162	0,0102	0,0024	0,0123	0,0017	0,0208	0,0102
F	211,7 ¹	95,2 ¹	27,2 ¹	114,2 ¹	146,9 ¹	583,2 ¹	108,2 ¹	1.037,1 ²	54,6 ¹	148,81 ¹
Análise de regressão										
q	2,8368	3,2931	5,5301	3,1183	3,7506	4,1188	4,1415	2,7216	4,8317	3,6022
Dr _m	0,78	0,65	0,78	0,65	0,78	0,78	0,78	0,51	0,78	0,78
Fenologia	R8	R6	R8	R6	R8	R8	R8	R5	R8	R8
erro padrão	0,4701	0,7526	1,5772	0,6605	0,6440	0,3439	0,7786	0,2195	1,1722	0,6215
r	0,967 ³	0,933 ³	0,729 ⁴	0,943 ³	0,954 ³	0,988 ³	0,937 ³	0,995 ³	0,886 ³	0,954 ³

1 Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($F_{1-5-0,01}=16,26$)

2 Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($F_{1-4-0,01}=21,20$)

3 Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($r_{6-0,01}=0,834$)

4 Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($r_{6-0,05}=0,707$)

5 Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($r_{5-0,01}=0,874$)

Tabela 29. Análise de variância (SQr: soma dos quadrados da regressão referente ao modelo do co-seno; SQe: soma dos quadrados dos erros; SQt: soma dos quadrados totais; GLr: graus de liberdade da regressão; GLe: graus de liberdade do erro; GLt: graus de liberdade totais; QMr: quadrado médio da regressão; QMe: quadrado médio do erro; e F: relação entre QMr e QMe – valor F) e de regressão (q: fator de forma da curva de acúmulo de matéria seca relativa total - modelo do co-seno; e r: coeficiente de correlação - Figura 30) referente ao acúmulo de matéria seca total nos diferentes tratamentos (Tabela 3).

Parâmetros	Tratamento									
	F1	F2	F3	F4	C1	C2	A1	A2	A3	A4
Análise de variância										
SQr	0,6752	0,8684	1,2485	1,0320	1,0935	0,7340	0,9731	0,4005	1,3848	0,8099
SQe	0,0135	0,0246	0,0475	0,0005	0,0105	0,0057	0,0076	0,0462	0,0551	0,0076
SQt	0,6887	0,8880	1,2960	1,0320	1,1040	0,7397	0,9807	0,4467	1,4399	0,8175
GLr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GLe	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
GLt	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
QMr	0,6752	0,8633	1,2485	1,0320	1,0935	0,7340	0,9731	0,4005	1,3849	0,8090
QMe	0,0027	0,0049	0,0095	0,0001	0,0021	0,0011	0,0015	0,0092	0,0110	0,0015
F	250,2 ¹	175,2 ¹	131,6 ¹	11386,6 ¹	521,3 ¹	646,5 ¹	642,9 ¹	43,4 ¹	125,8 ¹	531,9 ¹
Análise de regressão										
q	5,1146	3,7662	3,6287	3,6894	3,8240	5,2497	4,1842	6,6579	3,4569	4,6352
erro padrão	0,4729	0,4435	0,5896	0,0587	0,2946	0,3166	0,2782	1,2094	0,6005	0,3153
r	0,980 ²	0,968 ²	0,965 ²	0,999 ²	0,980 ²	0,993 ²	0,992 ²	0,879 ²	0,964 ²	0,991 ²

1 Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($F_{1-5-0,01}=16,26$)

2 Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($r_{6-0,01}=0,834$)

Tabela 30. Análise de variância (SQ: soma dos quadrados; GL: graus de liberdade; QM: quadrado médio; e F: valor F) referente ao acúmulo de matéria seca de folha e total considerando todos os tratamentos em conjunto.

Fonte de variação	Matéria seca de folha				Matéria seca total			
	SQ	GL	QM	F	SQ	GL	QM	F
Regressão	1,622974	1	1,622974	155,97 ¹	0,8854705	1	0,8854705	999,52 ¹
Erro	0,052026	5	0,010405		0,0044295	5	0,0008859	
Total	1,675000	6			0,8899000	6		

1 Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($F_{1-5-0,01}=16,26$)

Figura 29. Modelo do co-seno (Tabela 28) referente ao acúmulo de matéria seca relativa de folha nos diferentes tratamentos (Tabela 3).

Figura 30. Modelo do co-seno (Tabela 29) referente ao acúmulo de matéria seca relativa total nos diferentes tratamentos (Tabela 3).

Figura 31. Modelo do co-seno (Tabela 30) referente ao acúmulo de matéria seca relativa de folha referente aos diferentes tratamentos (Tabela 3) considerados em conjunto.

Figura 32. Modelo do co-seno (Tabela 30) referente ao acúmulo de matéria seca relativa total referente aos diferentes tratamentos (Tabela 3) considerados em conjunto.

Considerando todos os tratamentos em conjunto, obteve-se as seguintes equações (significativo ao nível de 1% de probabilidade) referentes ao acúmulo de matéria seca de folha (Tabela 30):

$$Wf_i = \cos^{3,43689867} \left\{ \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{Dr_i}{Dr_m} \right) \right\}; (r = 0,956 > r_{6-0,01}=0,834; \text{erro padrão} = 0,5993) \quad (32)$$

e ao acúmulo de matéria seca total:

$$Wr_i = \cos^{4,30016093} \left\{ \frac{\pi}{2} (1 - Dr_i) \right\}, (r = 0,995 > r_{6-0,01}=0,834; \text{erro padrão} = 0,2198) \quad (33)$$

Os valores médios de desenvolvimento relativo da cultura de feijão referentes à taxa máxima de acúmulo de matéria seca total de parte aérea e de folha, ao florescimento e à soma calórica foram: 0,64 (Dr_1); 0,68 (Dr_2), 0,51 (Dr_f) ($f=0,7968$) e 818,8 °C.dia, respectivamente.

4.9. Dados originais

4.9.1. Análise química do solo

Os dados originais referentes à análise química do solo contemplam os seguintes atributos: pH, teor de matéria orgânica (M.O., %), teor de fósforo (P, $\mu\text{g}.\text{cm}^{-3}$), teor de potássio (K, $\text{meq}/100\text{ cm}^3$), teor de cálcio (Ca, $\text{meq}/100\text{ cm}^3$), teor de magnésio (Mg, $\text{meq}/100\text{ cm}^3$), teor de hidrogênio e alumínio (H+Al, $\text{meq}/100\text{ cm}^3$), soma de bases (SB, $\text{meq}/100\text{ cm}^3$), capacidade de troca catiônica (CTC, $\text{meq}/100\text{ cm}^3$), porcentagem por saturação de bases (V, %) e nitrogênio total (Nt, %) (Tabela 31, Tabela 32, Tabela 33, **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, Tabela 35, Tabela 36 e Tabela 37).

4.9.2. Análise química do feijoeiro

Os dados originais referentes à análise química da haste (Tabela 38, Tabela 39 e Tabela 40), folha (Tabela 41, Tabela 42 e Tabela 43), botão floral (Tabela 44), vagem (Tabela 45 e Tabela 46) e grão (Tabela 47) do feijoeiro contemplam os seguintes atributos: teor de nitrogênio (N, %), teor de fósforo (P, %), teor de potássio (K, %), teor de cálcio (Ca, %), teor de magnésio (Mg, %), e teor de enxofre (S, %).

5. CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- i. **Conclusão principal:** Os modelos sugeridos podem ser utilizados para representar a variação temporal do acúmulo de matéria seca total de parte aérea e de folha, bem como para prever as épocas da taxa máxima de acúmulo de matéria seca, do florescimento e do ponto de maturidade fisiológica da cultura de feijão;
- ii. **Conclusões secundárias:**
 - ii.1. os atributos químicos do solo (pH, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio e alumínio) permaneceram praticamente constantes durante todo o experimento;
 - ii.2. as marchas de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, e enxofre podem ser estimadas a partir do conhecimento do teor médio dos macronutrientes e do fator de forma do modelo do co-seno referente ao acúmulo de matéria seca total;
 - ii.3. a variação temporal do índice de área foliar da cultura de feijão pode ser inferida a partir do modelo do co-seno referente ao acúmulo de matéria de folha;
 - ii.4. a relação funcional (superfície de resposta) entre rendimento, e os fatores de produção água (atendimento da demanda evapotranspiratória) e nitrogênio pode ser obtida empiricamente utilizando diversos modelos;
 - ii.5. os métodos prático e fitotécnico de estimativa de rendimento apresentam resultados análogos.

6. ANEXOS: Dados originais

6.1. ANEXO 1. Dados originais referentes à análise química do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade

Tabela 31. Dados originais referentes à análise química do solo correspondente ao Bloco I nos dias 24 de abril e 22 de maio de 1995.

Tratamento	pH	M.O. %	P $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V %	Nt %
24 de abril de 1995											
F1 45 50	6,7	2,1	51	0,22	3,7	1,9	2,2	5,8	8,0	73	0,17
F2 45 150	6,3	2,1	33	0,22	3,6	1,8	2,2	5,6	7,8	72	0,18
F3 135 50	6,1	2,0	51	0,37	4,3	2,2	2,8	6,9	9,7	71	0,15
F4 135 150	5,8	2,1	45	0,35	3,8	1,8	2,8	6,0	8,8	68	0,15
A1 0 100	5,4	2,0	12	0,21	3,2	1,3	3,4	4,7	8,1	58	0,15
A2 180 100	5,9	2,3	27	0,45	4,5	2,0	2,5	7,0	9,5	74	0,12
A3 90 200	5,4	1,9	14	0,32	3,6	1,5	3,1	5,4	8,5	64	0,14
A4 90 0	5,9	2,2	27	0,37	4,2	1,9	2,5	6,5	9,0	72	0,14
C1 90 100	5,5	2,0	32	0,30	4,2	2,1	2,8	6,6	9,4	70	0,11
C2 90 100	5,8	2,1	29	0,27	4,1	1,9	2,8	6,3	9,1	69	0,11
22 de maio de 1995											
F1 45 50	5,6	2,3	55	0,28	5,2	2,4	2,5	7,9	10,4	76	0,20
F2 45 150	5,6	2,1	37	0,29	4,7	2,3	2,8	7,3	10,1	72	0,14
F3 135 50	5,6	2,1	61	0,36	5,1	2,4	3,1	7,9	11,0	72	0,17
F4 135 150	5,5	2,2	48	0,35	4,5	2,1	3,1	7,0	10,1	69	0,27
A1 0 100	5,4	2,5	18	0,31	4,4	1,8	3,1	6,5	9,6	68	0,24
A2 180 100	5,7	2,0	23	0,52	4,9	2,2	2,2	7,6	9,8	78	0,17
A3 90 200	5,3	2,0	18	0,38	4,3	1,8	3,1	6,5	9,6	68	0,11
A4 90 0	5,7	2,0	26	0,42	4,7	2,1	2,2	7,2	9,4	77	0,14
C1 90 100	5,5	2,2	27	0,23	4,2	1,9	2,8	6,3	9,1	69	0,17
C2 90 100	5,7	2,4	31	0,27	3,6	1,7	2,5	5,6	8,1	69	0,11

Tabela 32. Dados originais referentes à análise química do solo correspondente ao Bloco I nos dias 5 de junho e 10 de junho de 1995.

Tratamento	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	Nt
		%	µg/cm³	meq/100cm³						%	%
5 de junho de 1995											
F1 45 50	5,8	2,3	47	0,37	5,2	2,5	2,2	8,1	10,3	79	0,15
F2 45 150	5,6	2,0	37	0,27	4,5	2,2	2,8	7,0	9,8	71	0,14
F3 135 50	5,8	2,3	53	0,32	5,1	2,5	2,5	7,9	10,4	76	0,15
F4 135 150	5,5	2,1	50	0,36	4,7	2,1	3,1	7,2	10,3	70	0,11
A1 0 100	5,0	2,3	14	0,27	4,3	1,8	3,4	6,4	9,8	65	0,09
A2 180 100	5,8	2,2	24	0,49	5,0	2,2	2,2	7,7	9,9	78	0,17
A3 90 200	5,2	2,0	14	0,34	3,8	1,5	3,1	5,6	8,7	65	0,10
A4 90 0	5,9	2,2	30	0,38	4,2	1,8	2,5	6,4	8,9	72	0,12
C1 90 100	5,5	2,2	38	0,28	4,2	1,9	2,8	6,4	9,2	69	0,14
C2 90 100	5,8	2,2	32	0,33	4,6	2,2	2,2	7,1	9,3	76	0,12
10 de junho de 1995											
F1 45 50	5,6	2,0	63	0,39	5,7	3,2	2,0	9,3	11,3	82	0,14
F2 45 150	5,6	2,3	45	0,28	4,6	2,6	2,8	7,5	10,3	73	0,11
F3 135 50	5,7	2,0	53	0,38	4,9	2,7	2,5	8,0	10,5	76	0,11
F4 135 150	5,4	2,0	48	0,36	3,8	2,1	3,1	6,3	9,4	67	0,15
A1 0 100	5,3	2,3	17	0,24	3,8	1,8	3,4	5,8	9,2	63	0,13
A2 180 100	5,6	2,0	27	0,44	4,5	2,2	2,8	7,1	9,9	72	0,12
A3 90 200	5,2	2,0	16	0,34	3,4	1,6	3,4	5,3	8,7	61	0,11
A4 90 0	5,7	2,0	28	0,42	4,5	2,3	2,5	7,2	9,7	74	0,13
C1 90 100	5,5	1,9	32	0,36	4,6	2,4	2,8	7,4	10,2	72	0,13
C2 90 100	5,6	2,1	29	0,27	4,3	2,4	2,8	7,0	9,8	71	-

Tabela 33. Dados originais referentes à análise química do solo correspondente ao Bloco I nos dias 15 de junho e 3 de julho de 1995.

Tratamento	pH	M.O. %	P $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	K $\text{meq}/100\text{cm}^3$	Ca $\text{meq}/100\text{cm}^3$	Mg $\text{meq}/100\text{cm}^3$	H+Al $\text{meq}/100\text{cm}^3$	SB $\text{meq}/100\text{cm}^3$	CTC $\text{meq}/100\text{cm}^3$	V %	Nt %
15 de junho de 1995											
F1 45 50	5,8	2,2	55	0,41	6,6	3,5	2,2	10,5	12,7	83	0,17
F2 45 150	5,4	2,2	43	0,26	5,1	2,5	3,1	7,9	11,0	72	0,17
F3 135 50	5,7	2,4	66	0,31	5,2	2,6	2,8	8,1	10,9	74	0,17
F4 135 150	5,3	2,6	50	0,27	4,5	2,1	3,8	6,9	10,7	64	0,17
A1 0 100	5,3	2,3	19	0,26	4,6	1,8	3,4	6,7	10,1	66	0,14
A2 180 100	5,6	2,4	27	0,48	5,6	2,4	2,2	8,5	10,7	79	0,15
A3 90 200	5,3	2,1	14	0,38	4,4	1,8	2,8	6,6	9,4	70	0,16
A4 90 0	5,4	2,1	24	0,36	4,4	1,8	2,8	6,6	9,4	70	0,18
C1 90 100	5,4	2,4	34	0,27	4,9	2,1	3,1	7,3	10,4	70	0,15
C2 90 100	5,5	2,4	34	0,30	4,6	2,1	2,8	7,0	9,8	71	0,14
3 de julho de 1995											
F1 45 50	5,8	2,2	67	0,43	6,7	3,4	2,2	10,5	12,7	83	0,13
F2 45 150	5,5	2,3	41	0,29	5,5	2,6	3,1	8,4	11,5	73	0,13
F3 135 50	5,6	2,3	53	0,33	5,6	2,5	2,8	8,4	11,2	75	0,13
F4 135 150	5,3	2,3	68	0,36	5,3	2,2	3,4	7,9	11,3	70	0,15
A1 0 100	5,1	2,4	14	0,26	3,9	1,4	3,8	5,6	9,4	59	0,14
A2 180 100	5,7	2,1	27	0,39	3,8	1,9	2,8	6,1	8,9	69	0,16
A3 90 200	5,4	2,1	15	0,34	3,8	1,8	2,8	5,9	8,7	68	0,14
A4 90 0	5,7	2,1	31	0,51	4,5	2,3	2,5	7,3	9,8	75	0,14
C1 90 100	5,4	2,0	31	0,29	3,7	2,0	3,1	6,0	9,1	66	0,11
C2 90 100	5,4	2,1	30	0,32	3,8	2,1	3,4	6,2	9,6	65	0,13

Tabela 34. Dados originais referentes à análise química do solo correspondente ao Bloco I no dia 7 de agosto e Bloco II no dia 24 de abril de 1995.

Tratamento	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	Nt
		%	µg/cm³	meq/100cm³						%	%
7 de agosto de 1995											
F1 45 50	5,9	2,3	59	0,36	5,7	3,7	2,0	9,8	11,8	83	-
F2 45 150	5,6	1,9	45	0,34	5,5	3,4	2,8	9,2	12,0	77	-
F3 135 50	5,7	2,3	55	0,30	5,4	3,0	2,8	8,7	11,5	76	-
F4 135 150	5,4	2,1	49	0,31	4,1	2,3	3,1	6,7	9,8	68	-
A1 0 100	5,2	2,3	15	0,29	3,8	1,8	3,4	5,9	9,3	63	-
A2 180 100	5,7	2,3	25	0,47	4,5	2,4	2,5	7,4	9,9	75	-
A3 90 200	5,3	2,0	19	0,36	3,6	1,9	3,1	5,9	9,0	65	-
A4 90 0	5,7	2,0	32	0,41	3,9	2,1	2,8	6,4	9,2	70	0,11
C1 90 100	5,3	2,0	56	0,32	4,5	2,6	3,1	7,4	10,5	71	0,11
C2 90 100	5,7	2,3	36	0,36	5,3	3,1	2,5	8,8	11,3	78	0,13
Dados originais referentes à <u>análise química do solo</u> correspondente ao Bloco II no dia											
24 de abril de 1995											
F1 45 50	5,6	2,3	40	0,24	3,8	1,5	3,1	5,5	8,6	64	0,11
F2 45 150	5,4	2,4	33	0,40	4,2	1,7	3,1	6,3	9,4	67	0,16
F3 135 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F4 135 150	5,3	2,0	20	0,32	4,1	1,4	3,1	5,8	8,9	65	0,18
A1 0 100	5,4	2,8	57	0,29	3,7	1,3	3,4	5,3	8,7	61	0,19
A2 180 100	5,5	2,3	37	0,41	4,6	1,7	2,8	6,7	9,5	71	0,15
A3 90 200	4,8	2,2	56	0,27	3,9	1,4	3,8	5,6	9,4	59	0,23
A4 90 0	5,4	2,1	46	0,35	4,9	1,6	3,1	6,9	10,0	69	0,17
C1 90 100	5,2	2,4	45	0,38	4,4	1,8	3,4	6,6	10,0	66	0,18
C2 90 100	5,2	2,6	59	0,28	4,6	1,9	4,2	6,8	11,0	62	0,18

Tabela 35. Dados originais referentes à análise química do solo correspondente ao Bloco II nos dias 22 de maio e 5 de junho de 1995.

22 de maio de 1995											
F1 45 50	5,5	2,4	38	0,25	4,4	1,6	2,8	6,3	9,1	69	0,14
F2 45 150	5,3	2,6	36	0,34	4,2	1,7	3,8	6,2	10,0	62	0,09
F3 135 50	5,5	2,0	14	0,26	3,6	1,5	2,8	5,4	8,2	66	0,12
F4 135 150	5,3	2,5	23	0,33	3,5	1,3	3,4	5,1	8,5	60	0,12
A1 0 100	5,2	2,5	45	0,25	4,6	1,6	3,8	6,5	10,3	63	0,15
A2 180 100	5,5	2,2	35	0,47	5,3	2,1	3,1	7,9	11,0	72	0,14
A3 90 200	5,1	2,5	48	0,26	4,3	1,6	4,2	6,2	10,4	59	0,14
A4 90 0	5,3	2,1	51	0,31	4,8	1,6	3,4	6,7	10,1	66	0,17
C1 90 100	5,3	2,6	44	0,37	5,2	2,1	3,8	7,7	11,5	67	0,14
C2 90 100	5,1	2,6	37	0,37	4,5	1,7	3,8	6,6	10,4	63	0,14
5 de junho de 1995											
F1 45 50	5,5	2,3	36	0,28	5,0	1,9	2,8	7,2	10,0	72	0,12
F2 45 150	5,3	2,6	32	0,28	4,3	1,7	3,4	6,3	9,7	65	0,18
F3 135 50	5,5	2,0	14	0,30	4,2	1,8	2,8	6,3	9,1	69	0,11
F4 135 150	5,2	2,4	22	0,44	4,1	1,6	3,4	6,1	9,5	64	0,13
A1 0 100	5,0	2,5	44	0,22	4,3	1,4	4,2	5,9	10,1	58	0,15
A2 180 100	5,4	2,5	33	0,42	4,6	1,9	2,8	6,9	9,7	71	0,15
A3 90 200	5,1	2,9	48	0,21	4,1	1,5	4,2	5,8	10,0	58	0,18
A4 90 0	5,1	2,4	53	0,26	4,0	1,3	3,8	5,6	9,4	59	0,17
C1 90 100	5,1	3,2	46	0,23	4,1	1,6	3,8	5,9	9,7	61	0,15
C2 90 100	5,2	2,3	48	0,32	4,5	1,8	4,2	6,6	10,8	61	0,17

Tabela 36. Dados originais referentes à análise química do solo correspondente ao Bloco II nos dias 10 e 15 de junho de 1995.

Tratamento	pH	M.O. %	P $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V %	Nt %
10 de junho de 1995											
F1 45 50	5,4	2,3	38	0,27	4,7	2,1	3,1	7,1	10,2	70	-
F2 45 150	5,4	2,7	42	0,44	4,8	2,6	3,1	7,8	10,9	72	-
F3 135 50	5,3	1,9	40	0,27	3,7	1,8	3,1	5,8	8,9	65	-
F4 135 150	5,1	2,4	30	0,46	4,0	1,8	3,8	6,3	10,1	62	-
A1 0 100	5,1	2,7	62	0,33	4,8	2,1	3,8	7,2	11,0	66	-
A2 180 100	5,3	2,7	35	0,42	4,6	2,2	3,4	7,2	10,6	68	-
A3 90 200	4,9	2,9	59	0,24	4,5	1,9	4,2	6,6	10,8	61	-
A4 90 0	5,1	2,3	63	0,36	5,4	2,1	3,8	7,9	11,7	67	-
C1 90 100	5,1	2,6	50	0,49	5,4	2,7	3,8	8,6	12,4	69	-
C2 90 100	5	2,2	58	0,25	4,8	2,3	4,7	7,4	12,1	61	-
15 de junho de 1995											
F1 45 50	5,5	2,5	39	0,28	5,6	2,1	3,1	8,0	11,1	72	0,15
F2 45 150	5,2	2,8	36	0,35	5,0	2,1	3,8	7,5	11,3	66	0,17
F3 135 50	5,2	1,9	15	0,24	4,2	1,7	3,1	6,1	9,2	66	0,13
F4 135 150	5,1	2,4	27	0,33	4,3	1,4	3,8	6,0	9,8	61	0,13
A1 0 100	5,2	2,4	50	0,27	5,0	1,7	3,8	7,0	10,8	65	0,15
A2 180 100	5,1	2,0	28	0,38	4,7	1,7	3,1	6,8	9,9	69	0,15
A3 90 200	4,9	2,5	57	0,27	4,7	1,8	4,7	6,8	11,5	59	0,13
A4 90 0	5,2	2,4	56	0,34	5,4	1,7	3,8	7,4	11,2	66	0,13
C1 90 100	5,0	2,8	60	0,32	4,5	1,7	4,2	6,5	10,7	61	0,15
C2 90 100	5,1	2,2	48	0,33	4,3	1,7	4,2	6,3	10,5	60	0,17

Tabela 37. Dados originais referentes à análise química do solo correspondente ao Bloco II nos dias 3 de julho e 7 de agosto de 1995.

Tratamento	pH	M.O. %	P $\mu\text{g}/\text{cm}^3$	K $\text{meq}/100\text{cm}^3$	Ca $\text{meq}/100\text{cm}^3$	Mg $\text{meq}/100\text{cm}^3$	H+Al $\text{meq}/100\text{cm}^3$	SB $\text{meq}/100\text{cm}^3$	CTC $\text{meq}/100\text{cm}^3$	V %	Nt %
3 de julho de 1995											
F1 45 50	5,4	2,4	45	0,31	4,8	2,1	3,1	7,2	10,3	70	0,16
F2 45 150	5,2	2,3	35	0,30	3,8	1,7	3,8	5,8	9,6	60	0,14
F3 135 50	5,4	2,0	15	0,33	3,8	1,9	3,1	6,0	9,1	66	0,09
F4 135 150	5,1	2,0	20	0,37	3,8	1,5	3,4	5,7	9,1	63	0,15
A1 0 100	5,2	2,4	48	0,24	4,2	1,7	3,8	6,1	9,9	62	0,11
A2 180 100	5,4	2,2	35	0,40	3,8	1,7	3,4	5,9	9,3	63	0,13
A3 90 200	5,0	2,6	57	0,21	3,4	1,4	4,2	5,0	9,2	54	0,14
A4 90 0	5,0	2,0	51	0,30	4,2	1,5	4,7	6,0	10,7	56	0,12
C1 90 100	5,0	2,4	55	0,27	3,9	1,8	4,7	6,0	10,7	56	0,14
C2 90 100	4,9	2,5	50	0,28	3,6	1,6	4,7	5,5	10,2	54	0,13
7 de agosto de 1995											
F1 45 50	5,4	2,3	44	0,30	5,6	2,7	3,1	8,6	11,7	74	0,15
F2 45 150	5,1	2,4	35	0,32	4,2	2,1	3,8	6,6	10,4	64	0,13
F3 135 50	5,3	1,9	14	0,23	3,2	1,6	3,1	5,0	8,1	62	0,11
F4 135 150	5,3	2,3	26	0,41	4,1	1,9	3,4	6,4	9,8	65	0,15
A1 0 100	5,2	2,3	48	0,30	4,2	1,8	4,2	6,3	10,5	60	0,13
A2 180 100	5,5	2,3	34	0,38	4,5	2,3	3,1	7,2	10,3	70	0,10
A3 90 200	5,0	2,5	57	0,28	4,7	2,2	4,2	7,2	11,4	63	0,15
A4 90 0	5,2	2,6	51	0,27	4,5	1,8	3,8	6,6	10,4	63	0,13
C1 90 100	5,1	2,6	44	0,24	4,2	2,1	4,2	6,5	10,7	61	0,11
C2 90 100	5,1	2,6	48	0,29	3,9	2,0	3,8	6,2	10,0	62	0,12

6.2. ANEXO 2: Dados originais referentes à análise química da haste do feijoeiro

Tabela 38. Dados originais referentes à análise química da haste do feijoeiro correspondente aos dois blocos nos dias 10 de maio e 24 de maio de 1995.

Tratamento	Bloco I						Bloco II					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	%											
10 de maio de 1995												
F1 45 50	1,60	0,22	3,26	1,57	0,32	0,63	1,49	0,13	2,55	1,38	0,24	0,40
F2 45 150	2,36	0,16	3,88	1,81	0,49	0,68	0,95	0,16	3,79	1,54	0,27	0,42
F3 135 50	1,21	0,14	2,78	1,68	0,32	0,49	1,77	0,24	3,62	1,46	0,30	0,71
F4 135 150	1,97	0,19	5,22	2,01	0,33	0,49	1,97	0,18	3,77	1,81	0,30	0,52
A1 0 100	1,67	0,14	3,51	1,66	0,34	0,59	1,65	0,22	4,07	1,73	0,32	0,29
A2 180 100	1,58	0,13	2,26	1,44	0,30	0,49	1,65	0,18	4,42	2,23	0,38	0,46
A3 90 200	2,38	0,09	2,56	1,77	0,40	0,64	1,59	0,19	4,11	2,18	0,32	0,42
A4 90 0	1,31	0,16	4,35	1,84	0,28	0,54	1,20	0,34	5,24	1,67	0,34	0,35
C1 90 100	1,54	0,16	3,79	1,72	0,33	0,46	1,51	0,17	3,67	1,71	0,32	0,48
C2 90 100	1,72	0,14	3,91	1,91	0,31	0,42	1,58	0,20	3,46	1,75	0,34	0,39
24 de maio de 1995												
F1 45 50	1,41	0,25	4,27	1,66	0,38	0,53	1,92	0,12	3,34	1,97	0,31	0,57
F2 45 150	1,35	0,25	4,07	1,61	0,34	0,50	1,30	0,19	4,18	1,64	0,30	0,51
F3 135 50	1,55	0,24	4,52	1,55	0,34	0,46	1,25	0,22	4,11	1,65	0,38	0,54
F4 135 150	1,34	0,22	4,07	1,57	0,43	0,49	1,33	0,22	3,69	1,56	0,37	0,51
A1 0 100	1,61	0,21	4,00	1,58	0,35	0,50	1,43	0,23	3,85	1,70	0,45	0,50
A2 180 100	1,75	0,19	4,31	1,71	0,35	0,46	1,06	0,26	3,99	1,59	0,40	0,53
A3 90 200	1,54	0,18	4,41	1,76	0,36	0,45	1,37	0,24	3,68	1,76	0,43	0,52
A4 90 0	1,69	0,17	4,13	1,65	0,26	0,44	1,43	0,25	3,96	1,79	0,35	0,50
C1 90 100	1,59	0,14	3,58	1,70	0,29	0,45	1,58	0,24	4,30	1,92	0,40	0,55
C2 90 100	1,83	0,16	4,07	2,17	0,34	0,53	1,54	0,21	3,93	1,75	0,42	0,46

Tabela 39. Dados originais referentes à análise química da haste do feijoeiro correspondente aos dois blocos nos dias 7 e 21 de junho de 1995.

Tratamento	Bloco I						Bloco II					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	%											
7 de junho de 1995												
F1 45 50	1,02	0,21	3,15	1,57	0,40	0,44	1,00	0,13	2,55	1,57	0,38	0,47
F2 45 150	0,86	0,21	2,92	1,60	0,35	0,53	1,07	0,18	3,13	1,52	0,37	0,46
F3 135 50	0,88	0,21	2,69	1,56	0,39	0,48	0,95	0,19	3,12	1,36	0,39	0,45
F4 135 150	0,81	0,21	2,70	1,50	0,41	0,43	0,91	0,19	2,80	1,25	0,42	0,43
A1 0 100	1,03	0,17	2,66	1,43	0,36	0,47	0,91	0,25	2,93	1,47	0,46	0,48
A2 180 100	0,88	0,18	2,71	1,42	0,41	0,50	0,93	0,22	2,57	1,46	0,46	0,52
A3 90 200	1,12	0,18	3,24	1,36	0,39	0,41	0,91	0,24	2,76	1,30	0,41	0,46
A4 90 0	1,08	0,18	3,58	1,37	0,35	0,49	0,91	0,24	2,80	1,52	0,38	0,49
C1 90 100	0,91	0,13	2,63	1,55	0,38	0,46	0,94	0,13	2,05	1,18	0,27	0,34
C2 90 100	1,23	0,14	2,72	1,69	0,39	0,38	0,90	0,17	2,49	1,43	0,38	0,45
21 de junho de 1995												
F1 45 50	1,04	0,23	2,85	1,57	0,41	0,52	1,19	0,10	1,76	1,56	0,28	0,38
F2 45 150	0,81	0,12	1,79	1,58	0,34	0,40	1,05	0,15	2,07	1,33	0,34	0,42
F3 135 50	0,93	0,14	1,83	1,45	0,33	0,41	0,92	0,15	2,29	1,25	0,33	0,43
F4 135 150	0,81	0,15	1,99	1,31	0,32	0,41	0,83	0,16	1,93	1,12	0,34	0,41
A1 0 100	0,76	0,17	1,93	1,19	0,36	0,40	0,91	0,15	1,93	1,22	0,35	0,40
A2 180 100	1,02	0,13	1,77	1,24	0,33	0,44	1,09	0,15	1,74	1,34	0,40	0,39
A3 90 200	0,85	0,15	2,05	1,40	0,37	0,39	1,20	0,15	1,67	1,24	0,39	0,39
A4 90 0	1,06	0,13	2,07	1,05	0,31	0,31	0,95	0,22	2,17	1,35	0,35	0,41
C1 90 100	1,14	0,12	2,26	1,34	0,30	0,34	0,91	0,22	2,16	1,33	0,33	0,41
C2 90 100	1,14	0,10	1,87	1,27	0,31	0,38	0,91	0,20	2,01	1,35	0,39	0,41

Tabela 40. Dados originais referentes à análise química da haste do feijoeiro correspondente aos dois blocos nos dias 5 e 19 de julho de 1995.

Tratamento	Bloco I						Bloco II					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	%											
5 de julho de 1995												
F1 45 50	0,81	0,15	1,85	1,60	0,43	0,42	0,91	0,11	1,50	1,08	0,32	0,35
F2 45 150	0,81	0,10	1,63	1,12	0,26	0,32	0,35	0,12	1,58	1,15	0,26	0,38
F3 135 50	0,71	0,16	1,86	1,14	0,32	0,42	0,77	0,15	1,76	1,07	0,26	0,38
F4 135 150	0,58	0,15	1,43	0,95	0,29	0,43	0,69	0,14	1,64	1,10	0,31	0,44
A1 0 100	0,92	0,11	1,69	1,30	0,37	0,35	0,35	0,14	1,55	1,15	0,36	0,38
A2 180 100	0,81	0,12	1,41	1,19	0,31	0,43	0,85	0,17	1,96	1,29	0,45	0,40
A3 90 200	0,91	0,11	1,82	1,26	0,36	0,34	0,69	0,14	1,42	1,18	0,35	0,44
A4 90 0	0,63	0,17	1,56	1,21	0,29	0,46	0,60	0,17	1,60	1,19	0,32	0,46
C1 90 100	0,77	0,11	1,43	1,02	0,28	0,36	0,93	0,16	1,78	1,23	0,35	0,36
C2 90 100	0,93	0,09	1,42	1,09	0,30	0,31	0,64	0,20	1,75	1,28	0,42	0,50
19 de julho de 1995												
F1 45 50	0,64	0,10	1,42	1,59	0,52	0,38	0,70	0,08	1,64	1,74	0,53	0,35
F2 45 150	0,56	0,10	1,61	1,87	0,62	0,43	0,57	0,08	1,59	1,72	0,43	0,48
F3 135 50	0,57	0,09	1,59	1,58	0,50	0,44	0,60	0,09	1,87	1,75	0,41	0,41
F4 135 150	0,63	0,10	1,39	1,72	0,63	0,49	0,48	0,10	1,80	1,61	0,57	0,43
A1 0 100	0,66	0,08	1,57	1,82	0,59	0,34	0,57	0,08	1,28	1,23	0,62	0,32
A2 180 100	0,62	0,09	1,81	2,15	0,75	0,49	0,63	0,10	1,57	1,86	0,72	0,44
A3 90 200	0,71	0,08	1,89	1,73	0,64	0,29	0,68	0,10	1,29	1,51	0,57	0,47
A4 90 0	0,62	0,06	1,68	1,57	0,43	0,32	0,56	0,13	1,49	1,63	0,54	0,48
C1 90 100	0,68	0,08	1,58	1,71	0,58	0,37	0,81	0,09	1,64	1,77	0,58	0,35
C2 90 100	0,66	0,06	1,40	1,87	0,64	0,30	0,81	0,15	1,58	2,14	0,78	0,47

6.3. ANEXO 3: Dados originais referentes à análise química da folha do feijoeiro

Tabela 41. Dados originais referentes à análise química da folha do feijoeiro correspondente aos dois blocos nos dias 10 e 24 de maio de 1995.

Tratamento	Bloco I						Bloco II					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	%											
10 de maio de 1995												
F1 45 50	3,86	0,36	2,95	2,00	0,62	0,23	2,72	0,18	2,12	1,20	0,33	0,14
F2 45 150	4,21	0,29	2,96	2,12	0,56	0,24	3,01	0,29	2,52	1,31	0,38	0,17
F3 135 50	2,45	0,18	2,26	1,33	0,37	0,18	3,68	0,33	3,00	1,47	0,48	0,19
F4 135 150	4,55	0,38	3,35	2,18	0,71	0,22	3,92	0,36	3,24	2,05	0,68	0,21
A1 0 100	3,85	0,30	3,00	1,97	0,60	0,21	3,28	0,32	2,51	1,68	0,54	0,20
A2 180 100	3,29	0,30	2,69	1,67	0,53	0,19	4,15	0,34	2,54	2,09	0,64	0,21
A3 90 200	4,27	0,25	2,93	1,96	0,59	0,18	4,06	0,39	2,69	2,06	0,65	0,22
A4 90 0	3,84	0,29	3,03	1,59	0,49	0,18	4,01	0,44	2,83	2,00	0,65	0,22
C1 90 100	3,71	0,25	2,52	1,38	0,41	0,16	3,26	0,35	2,56	1,65	0,49	0,18
C2 90 100	3,30	0,21	2,40	1,68	0,42	0,18	3,98	0,38	2,55	1,62	0,54	0,19
24 de maio de 1995												
F1 45 50	3,61	0,35	2,62	2,23	0,63	0,20	4,40	0,20	2,85	2,39	0,39	0,21
F2 45 150	3,42	0,33	2,73	2,46	0,62	0,22	3,37	0,33	2,77	2,32	0,50	0,23
F3 135 50	2,97	0,37	2,77	2,43	0,66	0,22	3,23	0,33	2,45	2,06	0,49	0,22
F4 135 150	3,88	0,43	2,56	2,14	0,63	0,20	2,95	0,36	2,37	2,25	0,61	0,22
A1 0 100	2,81	0,34	2,91	2,34	0,62	0,22	3,53	0,39	2,35	2,67	0,78	0,23
A2 180 100	4,01	0,35	3,00	2,20	0,60	0,20	3,39	0,40	2,34	2,30	0,63	0,24
A3 90 200	3,65	0,31	2,81	1,85	0,48	0,22	3,27	0,37	2,22	2,63	0,73	0,23
A4 90 0	3,29	0,27	3,00	2,06	0,42	0,19	3,22	0,34	2,52	2,42	0,53	0,23
C1 90 100	3,95	0,21	3,17	2,29	0,44	0,18	3,99	0,44	2,66	2,66	0,62	0,26
C2 90 100	4,21	0,27	2,76	2,44	0,39	0,22	3,12	0,34	2,78	2,00	0,53	0,20

Tabela 42. Dados originais referentes à análise química da folha do feijoeiro correspondente aos dois blocos nos dias 7 e 21 de junho de 1995.

Tratamento	Bloco I						Bloco II					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	%											
7 de junho de 1995												
F1 45 50	3,04	0,36	2,42	2,55	0,59	0,23	3,02	0,25	2,75	2,21	0,43	0,20
F2 45 150	2,38	0,32	2,44	2,50	0,46	0,22	3,61	0,39	3,09	2,77	0,58	0,23
F3 135 50	2,28	0,31	1,99	2,04	0,43	0,22	2,58	0,30	2,62	2,29	0,52	0,23
F4 135 150	2,38	0,34	2,24	2,47	0,57	0,21	2,49	0,28	2,40	2,53	0,57	0,19
A1 0 100	2,75	0,31	2,49	3,20	0,66	0,24	3,45	0,37	2,71	2,84	0,70	0,23
A2 180 100	2,64	0,34	2,49	2,72	0,59	0,24	2,74	0,37	2,19	2,80	0,68	0,24
A3 90 200	3,04	0,34	3,70	3,35	0,80	0,25	2,80	0,37	2,28	2,51	0,58	0,22
A4 90 0	3,20	0,35	2,95	2,57	0,59	0,21	2,66	0,33	2,42	2,69	0,49	0,21
C1 90 100	2,45	0,26	2,81	2,54	0,42	0,18	2,51	0,33	2,15	2,49	0,46	0,21
C2 90 100	3,12	0,29	2,94	2,71	0,45	0,21	2,77	0,35	2,24	2,93	0,62	0,22
21 de junho de 1995												
F1 45 50	3,57	0,35	2,56	4,40	0,63	0,24	4,13	0,33	3,49	3,13	0,54	0,31
F2 45 150	3,74	0,36	2,91	4,14	0,65	0,27	4,08	0,39	3,48	4,06	0,71	0,30
F3 135 50	3,53	0,39	2,96	4,26	0,76	0,30	3,43	0,31	2,84	3,09	0,68	0,32
F4 135 150	3,64	0,40	2,58	3,92	0,83	0,37	3,59	0,38	3,11	3,98	0,85	0,36
A1 0 100	3,53	0,33	2,69	3,81	0,78	0,35	3,57	0,39	2,80	3,65	0,77	0,34
A2 180 100	3,72	0,36	2,89	4,19	0,94	0,32	3,78	0,37	2,36	4,36	0,93	0,35
A3 90 200	3,87	0,34	3,37	3,48	0,79	0,28	3,99	0,37	2,53	3,95	0,87	0,33
A4 90 0	4,10	0,34	3,25	3,97	0,72	0,26	3,76	0,43	2,75	3,77	0,78	0,36
C1 90 100	4,00	0,29	3,41	3,66	0,65	0,29	4,08	0,41	2,91	3,76	0,75	0,34
C2 90 100	3,83	0,30	3,40	4,05	0,54	0,32	3,83	0,30	3,40	4,05	0,54	0,32

Tabela 43. Dados originais referentes à análise química da **folha do feijoeiro** correspondente aos dois blocos nos dias 5 e 19 de junho de 1995

Tratamento	Bloco I						Bloco II					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	%											
5 de julho de 1995												
F1 45 50	3,42	0,35	2,40	4,72	0,63	0,23	3,50	0,28	2,61	3,46	0,50	0,32
F2 45 150	3,33	0,27	3,00	3,60	0,37	0,21	3,23	0,24	2,44	3,59	0,36	0,26
F3 135 50	2,59	0,27	2,43	3,96	0,61	0,27	3,50	0,36	2,37	3,65	0,52	0,30
F4 135 150	2,49	0,30	1,83	3,66	0,60	0,29	2,97	0,28	2,24	3,37	0,42	0,30
A1 0 100	3,48	0,27	2,27	3,89	0,54	0,24	3,28	0,30	2,22	4,80	0,67	0,25
A2 180 100	3,03	0,30	2,49	4,16	0,57	0,28	3,85	0,31	2,37	4,83	0,80	0,26
A3 90 200	3,61	0,25	2,90	3,19	0,60	0,28	2,78	0,32	1,96	4,67	0,66	0,36
A4 90 0	2,66	0,34	2,78	4,61	0,62	0,32	2,80	0,30	2,02	4,46	0,56	0,36
C1 90 100	3,09	0,23	2,88	3,72	0,39	0,26	2,92	0,33	2,46	4,05	0,61	0,21
C2 90 100	4,20	0,24	2,80	3,71	0,44	0,24	3,82	0,33	2,32	4,26	0,70	0,31
19 de julho de 1995												
F1 45 50	3,10	0,29	1,87	6,59	0,59	0,27	2,98	0,19	2,72	5,73	0,39	0,34
F2 45 150	2,93	0,27	1,92	5,63	0,47	0,34	2,80	0,26	2,18	6,61	0,39	0,35
F3 135 50	2,91	0,27	1,88	5,79	0,50	0,35	2,81	0,29	2,01	6,22	0,32	0,33
F4 135 150	2,95	0,30	1,70	7,16	0,77	0,33	2,72	0,31	1,91	5,99	0,43	0,33
A1 0 100	2,72	0,23	2,17	7,61	0,77	0,33	3,01	0,28	1,81	6,63	0,71	0,29
A2 180 100	2,91	0,24	2,19	7,37	0,65	0,35	2,95	0,25	1,82	6,88	0,64	0,29
A3 90 200	2,93	0,21	2,60	5,80	0,47	0,25	2,52	0,35	1,49	6,12	0,77	0,25
A4 90 0	2,80	0,20	2,59	6,48	0,29	0,22	2,24	0,32	1,55	6,92	0,61	0,26
C1 90 100	2,88	0,20	2,72	5,39	0,39	0,28	3,02	0,23	2,11	7,74	0,58	0,22
C2 90 100	2,80	0,21	2,28	6,32	0,37	0,25	3,07	0,33	1,98	6,61	0,69	0,31

6.4. ANEXO 4: Dados originais referentes à análise química da botão floral do feijoeiro

Tabela 44. Dados originais referentes à análise química da botão floral do feijoeiro correspondente aos dois blocos nos dias 7 e 21 de junho de 1995.

Tratamento	Bloco I						Bloco II					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
%												
7 de junho de 1995												
F1 45 50	4,04	0,68	3,27	1,73	0,38	0,44	3,99	0,52	3,89	1,99	0,49	0,42
F2 45 150	4,04	0,76	3,22	1,93	0,41	0,40	4,27	0,64	3,30	2,00	0,39	0,43
F3 135 50	3,99	0,68	2,97	1,76	0,35	0,39	4,08	0,72	3,04	2,83	0,35	0,40
F4 135 150	3,85	0,67	3,02	1,79	0,39	0,38	4,09	0,65	3,22	1,94	0,38	0,42
A1 0 100	3,99	0,69	2,96	1,94	0,32	0,36	4,02	0,70	3,30	1,75	0,38	0,43
A2 180 100	4,02	0,67	3,03	1,80	0,34	0,37	4,06	0,63	3,19	1,78	0,35	0,41
A3 90 200	4,14	0,64	2,87	1,78	0,34	0,39	4,17	0,66	3,31	1,78	0,37	0,43
A4 90 0	3,86	0,64	3,07	1,77	0,37	0,40	3,92	0,71	3,33	1,90	0,39	0,42
C1 90 100	3,91	0,58	2,93	1,95	0,35	0,40	3,89	0,64	3,18	1,80	0,34	0,40
C2 90 100	4,47	0,61	2,88	1,97	0,30	0,39	3,97	0,70	3,34	1,80	0,38	0,44
21 de junho de 1995												
F1 45 50	3,77	0,55	3,41	1,45	0,33	0,37	3,64	0,42	3,08	1,31	0,29	0,37
F2 45 150	3,50	0,52	2,99	1,38	0,31	0,37	3,68	0,53	3,27	1,21	0,29	0,36
F3 135 50	3,69	0,56	3,25	1,40	0,33	0,37	3,62	0,53	3,25	1,25	0,29	0,37
F4 135 150	3,64	0,59	3,52	0,41	0,36	0,37	3,34	0,55	3,42	1,26	0,34	0,38
A1 0 100	3,61	0,51	3,18	0,26	0,30	0,37	3,61	0,57	3,37	1,25	0,30	0,36
A2 180 100	3,71	0,61	3,34	1,34	0,32	0,36	3,45	0,59	3,14	1,27	0,30	0,40
A3 90 200	3,37	0,55	3,27	1,16	0,31	0,35	3,82	0,58	2,89	1,04	0,26	0,36
A4 90 0	3,47	0,50	3,28	1,22	0,30	0,34	3,33	0,59	3,15	1,21	0,28	0,35
C1 90 100	3,37	0,46	3,13	1,49	0,32	0,36	3,71	0,60	3,82	1,46	0,41	0,35
C2 90 100	3,46	0,49	3,03	1,48	0,29	0,36	3,47	0,62	3,29	1,31	0,30	0,36

6.5. ANEXO 5: Dados originais referentes à análise química da vagem do feijoeiro

Tabela 45. Dados originais referentes à análise química da vagem do feijoeiro correspondente aos dois blocos nos dias 21 de junho e 5 de julho de 1995.

Tratamento	Bloco I						Bloco II					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	%											
21 de junho de 1995												
F1 45 50	4,41	0,64	3,66	1,20	0,32	0,26	5,19	0,59	3,11	1,25	0,38	0,25
F2 45 150	4,44	0,72	3,45	1,29	0,38	0,25	4,10	0,72	3,57	1,35	0,41	0,24
F3 135 50	4,71	0,83	3,68	1,36	0,39	0,25	4,78	0,67	0,33	1,27	0,43	0,25
F4 135 150	4,57	0,83	3,56	1,43	0,42	0,26	4,13	0,61	0,30	1,38	0,38	0,25
A1 0 100	4,67	0,70	3,27	1,18	0,34	0,25	4,41	0,55	2,93	1,15	0,34	0,21
A2 180 100	5,16	0,75	3,47	1,40	0,41	0,25	4,44	0,74	3,12	1,24	0,35	0,24
A3 90 200	4,92	0,74	3,40	1,32	0,38	0,22	4,63	0,74	3,44	1,34	0,42	0,30
A4 90 0	4,36	0,62	3,33	1,23	0,35	0,22	4,20	0,88	3,96	1,48	0,42	0,28
C1 90 100	4,70	0,54	3,23	1,45	0,38	0,21	3,89	0,80	3,68	1,41	0,41	0,28
C2 90 100	3,99	0,63	3,18	1,43	0,34	0,33	4,40	0,90	3,75	1,37	0,42	0,34
5 de julho de 1995												
F1 45 50	2,55	0,41	2,36	1,08	0,42	0,22	2,68	0,34	2,23	1,03	0,41	0,23
F2 45 150	2,70	0,33	2,26	1,09	0,38	0,20	2,54	0,35	2,23	0,95	0,35	0,20
F3 135 50	2,60	0,40	2,51	1,17	0,43	0,24	2,64	0,41	2,55	1,10	0,41	0,25
F4 135 150	2,37	0,46	2,30	1,04	0,40	0,27	2,40	0,41	2,45	1,01	0,41	0,23
A1 0 100	2,70	0,52	2,40	1,02	0,41	0,20	2,82	0,43	2,51	1,03	0,42	0,23
A2 180 100	2,74	0,39	2,20	1,06	0,38	0,22	2,73	0,45	2,63	1,04	0,44	0,22
A3 90 200	2,86	0,37	2,62	1,08	0,47	0,21	2,13	0,48	2,32	0,97	0,40	0,31
A4 90 0	2,18	0,38	2,20	0,95	0,39	0,26	2,13	0,43	2,37	1,02	0,38	0,28
C1 90 100	2,46	0,32	2,21	1,08	0,40	0,22	3,01	0,43	2,47	0,93	0,41	0,22
C2 90 100	2,43	0,33	2,33	1,13	0,43	0,22	2,45	0,46	2,34	1,01	0,39	0,27

Tabela 46. Dados originais referentes à análise química da vagem do feijoeiro correspondente aos dois blocos no dia 19 de julho de 1995

Tratamento	Bloco I						Bloco II					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	%											
19 de julho de 1995												
F1 45 50	2,43	0,46	2,07	0,73	0,34	0,25	2,59	0,29	2,21	1,06	0,40	0,27
F2 45 150	2,31	0,37	2,19	0,73	0,35	0,28	2,10	0,30	2,39	0,90	0,34	0,29
F3 135 50	2,17	0,43	2,20	0,82	0,33	0,29	3,01	0,36	2,29	0,87	0,32	0,27
F4 135 150	2,29	0,34	2,38	1,08	0,40	0,31	1,97	0,36	2,35	0,91	0,38	0,37
A1 0 100	2,78	0,36	2,30	0,79	0,36	0,29	2,32	0,32	2,43	0,99	0,43	0,32
A2 180 100	2,59	0,41	2,38	0,81	0,37	0,29	2,10	0,35	2,61	0,96	0,41	0,27
A3 90 200	2,66	0,29	2,45	0,94	0,42	0,23	2,16	0,39	2,25	0,85	0,35	0,32
A4 90 0	2,22	0,26	2,42	0,98	0,37	0,20	2,10	0,36	2,57	1,15	0,41	0,35
C1 90 100	2,42	0,31	2,13	0,86	0,34	0,22	2,49	0,36	2,28	0,83	0,35	0,28
C2 90 100	2,29	0,25	1,89	0,96	0,34	0,25	2,50	0,45	2,41	0,76	0,35	0,30

6.6. ANEXO 6: Dados originais referentes à análise química dos grãos do feijoeiro

Tabela 47. Dados originais referentes à análise química dos grãos do feijoeiro correspondente aos dois blocos no dia 7 de agosto de 1995.

Tratamento	Bloco I						Bloco II					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
	%											
7 de agosto de 1995												
F1 45 50	0,84	0,09	2,07	1,87	0,77	0,48	0,89	0,05	2,18	1,99	0,80	0,42
F2 45 150	0,68	0,10	2,34	1,75	0,65	0,46	0,91	0,05	2,10	1,38	0,54	0,33
F3 135 50	0,28	0,11	2,40	1,85	0,66	0,44	0,62	0,04	2,35	1,64	0,59	0,39
F4 135 150	0,60	0,08	1,86	1,73	0,70	0,46	0,63	0,05	2,44	1,44	0,63	0,40
A1 0 100	0,62	0,05	2,11	1,61	0,76	0,36	0,70	0,07	2,83	1,92	0,90	0,38
A2 180 100	0,75	0,05	2,69	1,77	0,79	0,40	0,73	0,08	2,19	1,52	0,78	0,36
A3 90 200	0,63	0,05	2,59	1,74	0,76	0,35	0,72	0,07	2,21	1,38	0,66	0,37
A4 90 0	0,73	0,05	2,20	1,59	0,61	0,35	0,89	0,08	2,69	1,64	0,62	0,34
C1 90 100	0,60	0,04	2,23	1,41	0,65	0,35	0,88	0,06	2,36	1,60	0,65	0,32
C2 90 100	0,85	0,05	2,10	1,60	0,64	0,35	0,70	0,08	2,13	1,92	0,71	0,40

6.7. ANEXO 7: Dedução do modelo do co-seno referente ao acúmulo da matéria seca total de parte aérea

Em função do conhecimento do comportamento do fenômeno a ser modelado, concebeu-se o seguinte modelo básico:

$$Wr = \cos\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Dr)\right\} \quad (34)$$

Para verificação dos valores extremos, temos que:

- 1) se $Dr = 0 \Rightarrow Wr = 0$ (Estádio V1: emergência);
- 2) se $Dr = 1 \Rightarrow Wr = 1$ (Estádio R9: ponto de maturidade fisiológica).

Sendo assim, inseriu-se o fator empírico de forma (q) da curva de acúmulo de matéria seca total de parte aérea, obtendo-se assim o modelo definitivo:

$$Wr = \cos^q\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Dr)\right\} \quad (35)$$

Para verificação das hipóteses básicas (Tabela 7), tem-se a primeira derivada:

$$\frac{dWr}{dDr} = q \cos^{(q-1)}\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Dr)\right\} \left\{-\sin\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Dr)\right\}\right\} \left(-\frac{\pi}{2}\right) \quad (36)$$

$$\frac{dWr}{dDr} = \frac{q\pi}{2} \cos^{(q-1)}\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Dr)\right\} \sin\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Dr)\right\} \quad (37)$$

e a derivada segunda:

$$\frac{d^2Wr}{dDr^2} = \frac{q\pi}{2} \left[(q-1) \cos^{(q-2)}\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Dr)\right\} \left\{-\sin\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Dr)\right\}\right\} \left\{\left(-\frac{\pi}{2}\right) \sin\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Dr)\right\}\right\} \right] + X \quad (38)$$

em que:

$$X = \left\{ \cos^{(q-1)}\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Dr)\right\} \cos\left\{\frac{\pi}{2}(1 - Dr)\right\} \left(-\frac{\pi}{2}\right) \right\} \quad (39)$$

ⓧ

$$\frac{d^2Wr}{dDr^2} = \frac{q\pi}{2} \left\{ (q-1) \frac{\pi}{2} \cos^{(q-2)}(y) \sin^2(y) - \frac{\pi}{2} \cos^q(y) \right\} \quad (40)$$

em que:

$$y = \frac{\pi}{2}(1 - Dr) \quad (41)$$

$$\frac{d^2Wr}{dDr^2} = \frac{q\pi^2}{4} \left\{ (q-1)\cos^{(q-2)}(y)\sin^2(y) - \cos^q(y) \right\} \quad (42)$$

Para derivação do desenvolvimento relativo da cultura referente à taxa de máximo acúmulo de matéria seca total de parte aérea, tem-se que:

$$\frac{d^2Wr}{dDr^2} = 0 \quad (43)$$

$$(q-1)\cos^{(q-2)}(y)\frac{\sin^2(y)}{\cos^2(y)} = \frac{\cos^q(y)}{\cos^2(y)} \quad (44)$$

$$(q-1)\cos^{(q-2)}(y)tg^2(y) = \cos^{(q-2)}(y) \quad (45)$$

$$y = \arctg\left(\frac{1}{\sqrt{q-1}}\right) \quad (46)$$

$$\frac{\pi}{2}(1 - Dr_1) = \arctg\left(\frac{1}{\sqrt{q-1}}\right) \quad (47)$$

$$Dr_1 = 1 - \frac{2}{\pi}\arctg\left(\frac{1}{\sqrt{q-1}}\right) \quad (48)$$

6.8. ANEXO 8: Dedução do modelo do co-seno referente ao acúmulo da matéria seca de folha

Analogamente, tem-se:

i. o modelo básico:

$$Wf = \cos\left\{\frac{\pi}{2}\left(\frac{Dr_m - Dr}{Dr_m}\right)\right\} (0 < Dr_m < 1,0) \quad (49)$$

ii. a verificação do extremos (Tabela 8):

$$\text{ii.1) se } Dr = 0 \Rightarrow Wf = 0$$

$$\text{ii.2) se } Dr = Dr_m \Rightarrow Wf = 1$$

$$\text{ii.3) se } Dr = 1 \Rightarrow 0 < Wf < 1$$

iii. modelo definitivo:

$$Wf = \cos^p\left\{\frac{\pi}{2}\left(\frac{Dr_m - Dr}{Dr_m}\right)\right\} \quad (50)$$

iv. a primeira derivada:

$$\frac{dWf}{dDr} = p \cos^{(p-1)}\left\{\frac{\pi}{2}\left(\frac{Dr_m - Dr}{Dr_m}\right)\right\} \left\{-\sin\left\{\frac{\pi}{2}\left(\frac{Dr_m - Dr}{Dr_m}\right)\right\}\left(-\frac{\pi}{2Dr_m}\right)\right\} \quad (51)$$

$$\frac{dWf}{dDr} = \frac{p\pi}{2Dr_m} \cos^{(p-1)}(z) \sin(z) \quad (52)$$

em que:

$$z = \frac{\pi}{2}\left(\frac{Dr_m - Dr}{Dr_m}\right) \quad (53)$$

v. a segunda derivada:

$$\frac{d^2Wf}{dDr^2} = \frac{p\pi}{2Dr_m} \left\{ (p-1) \cos^{(p-2)}\left\{\frac{\pi}{2}\left(\frac{Dr_m - Dr}{Dr_m}\right)\right\} \left\{-\sin\left\{\frac{\pi}{2}\left(\frac{Dr_m - Dr}{Dr_m}\right)\right\}\left(\frac{-\pi}{2Dr_m}\right)\right\} \sin\left\{\frac{\pi}{2}\left(\frac{Dr_m - Dr}{Dr_m}\right)\right\} + Q \right\} \quad (54)$$

em que:

$$Q = \left\{ \cos^{(p-1)} \left\{ \frac{\pi}{2} \left(\frac{Dr_m - Dr}{Dr_m} \right) \right\} \cos \left\{ \frac{\pi}{2} \left(\frac{Dr_m - Dr}{Dr_m} \right) \right\} \left(\frac{-\pi}{2Dr_m} \right) \right\} \quad (55)$$

Sendo assim:

$$\frac{d^2 Wf}{dDr^2} = \frac{p\pi}{2Dr_m} \left\{ (p-1) \frac{\pi}{2Dr_m} \cos^{(p-2)}(z) \sin^2(z) - \frac{\pi}{2Dr_m} \cos^p(z) \right\} \quad (56)$$

$$\frac{d^2 Wf}{dDr^2} = \frac{p\pi^2}{4D^2r_m} \left\{ (p-1) \cos^{(p-2)}(z) \sin^2(z) - \cos^p(z) \right\} \quad (57)$$

vi. o ponto de inflexão:

$$\frac{d^2 Wf}{dDr^2} = 0 \quad (58)$$

Sendo assim, tem-se que:

$$(p-1) \cos^{(p-2)}(z) \sin^2(z) = \cos^p(z) \quad (59)$$

dividindo os dois termos da equação pelo $\cos^2(z)$, tem-se que:

$$(p-1) \cos^{(p-2)}(z) \frac{\sin^2(z)}{\cos^2(z)} = \frac{\cos^p(z)}{\cos^2(z)} \quad (60)$$

$$(p-1) \cos^{(p-2)}(z) \operatorname{tg}^2(z) = \cos^{(p-2)}(z) \quad (61)$$

$$\operatorname{tg}^2(z) = \frac{1}{p-1} \quad (62)$$

$$z = \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{p-1}} \quad (63)$$

$$\frac{\pi}{2} \left(\frac{Dr_m - Dr_2}{Dr_m} \right) = \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{p-1}} \quad (64)$$

$$Dr_2 = Dr_m \left[1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\sqrt{p-1}} \right) \right] \quad (65)$$

6.9. ANEXO 9: Fotos relativas à área experimental

Figura 33. Implantação do experimento em 18 de abril de 1995 (dia da semeadura). Área experimental do Departamento de Agricultura, ESALQ, Universidade de São Paulo, em Piracicaba, SP.

Figura 34. Detalhe do sistema fixo de irrigação por aspensão convencional. Departamento de Agricultura, ESALQ, Universidade de São Paulo, em Piracicaba, SP.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARSCOTT, T. G. Nitrogen fertilization of bananas (*Musa cavendishii* Lambert) through a sprinkler irrigation system. **Trop. agric.**, **45**:17-22, 1970.
- AZEVEDO, H. J. de Efeito de diferentes lâminas de água e doses de adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) Piracicaba, 1984. 85p. (Mestrado. ESALQ/USP).
- BERTON, R. S. Fertilizantes e poluição. IN: A. R. DECHEN, A. E. BOARETTO; F. da C. VERDADE (coord.) **Adubação, produtividade e ecologia**; simpósios. Campinas, Fundação Cargill, 1992. p.299-313.
- CABALLERO, S. S. Dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta na cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar carioca. Piracicaba, 1982. 154p. (Doutorado/ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”).
- CADWELL, A. C.; MURPHY, L. S.; TUCKER, B. B.; WIESE, R. A.; ZUBRISKI, J. C. Roundtable irrigation-fertigation. **Crop Soils**, **29**:14-21, 1977.
- COELHO, R. D. Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas. Piracicaba, 1990. 141 p. (Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”).
- COSTA, A. F. S. da. Influência das condições climáticas no crescimento e desenvolvimento de Plantas de Feijão (*Zea mays* L.), avaliadas em diferentes épocas de plantio. Viçosa, 1994. 109p. (Doutorado – Universidade Federal de Viçosa).

- COSTA, E. F. da; FRANCA, G. E. de; ALVES, V. M. V. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, **12**(139):63-68, junho. 1986.
- COSTA, E. F. da; VIEIRA R. F.; VIANA P. A. Aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília, 1994. p.201-208.
- DOURADO NETO, D.; SAAD, A. M.; van LIER, Q. de J. Controle de irrigação: método conjugado. IN: A. L. FANCELLI & D. DOURADO NETO (ed.). **Feijão irrigado**, 3.ed.Piracicaba, ESALQ/USP, 1992. p.130-156.
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. Software FEIJÃO para Windows. Departamento de Agricultura, ESALQ/USP, 1997. (versão 1.00).
- DOWLER, C. C.; GAINES, T. P.; SKLANY, T. E. Fertilizing sequential multiple crops on a coastal plain soil by sprinkler irrigation. **Irrigation and Drainage Abstracts**, **3**:11, september/1985.
- FANCELLI, A. L. Fenologia e exigências climáticas do feijoeiro. In: A. L. FANCELLI; D. DOURADO NETO (ed.) **Feijão irrigado**. 3^a. ed. Piracicaba, ESALQ/USP, 1992. p.5-22
- FELIPE, M. P. Efeitos de diferentes lâminas de água e épocas de parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Lavras, 1991. 105p. (Mestrado/ Escola Superior de Agricultura de Lavras).
- FRIZZONE, J. A. Fertirrigação. Piracicaba, ESALQ/USP. 1984. 32p.

- FRIZZONE, J. A. Funções de respostas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação. Piracicaba, 1986. 133p. (Doutorado. ESALQ/USP).
- FRIZZONE, J. A; ZANINI, J. R.; PAES, L. A. D.; NASCIMENTO, V. M. do. **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. 1985. 31p. (Boletim técnico, 2).
- GALLO, J. R.; MIYASAKA, S. Composição química do feijoeiro e absorção de elementos nutritivos do florescimento à maturação. **BRAGANTIA**, 20: 867-884. 1961.
- GOUDRIAAN, J.; LAAR, H. H. van, **Modelling Potential Crop Growth Processes: textbook with exercises**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994. 238p. (Current issues in production ecology, 2).
- HAAG, H. P. ; MALAVOLTA, E. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, 26: 381-391,1967.
- HAGIN, H. P. TUCKER, B. **Fertilization of dry land and irrigated soils**. Berlin, Springer-Verlag, 1982. (Advanced Series in Agricultural Science, 12). 118p.
- IBGE. Área colhida, quantidade produzida e valor da produção dos produtos agrícolas, segundo as Unidades da Federação - 1992. *Anuário estatístico do brasil/* 1993. Rio de Janeiro, 50. 1993.
- KILMER, V. J. ; ALEXANDER, V. T. Methods of making mechanical analysis of soils. **Soil Science**, Baltimore, 68:15-26. 1949.

- LEITE, C. B. Lixiviação de nitrogênio em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1993. 112p. (Mestrado/ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”).
- LIMA, M. G. de. Calibração e validação do modelo Ceres-Maize em condições tropicais do Brasil. Piracicaba, 1995. 119p. (Tese - ESALQ).
- MAIA, P. C. S. Fertirrigação por aspersão convencional na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1989. 80p. (Mestrado/ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”).
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição de plantas. São Paulo, Ceres 1980, 251p.
- MARCHETTI, D. Irrigação por pivô central. Brasília, EMBRAPA. 1983. 23p (Circular Técnica, 1).
- MEIRELLES, N. M. F.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Absorção e lixiviação de nitrogênio em cultura de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 4: 83-88. 1980.
- MYERS, R. H. Response surface methodology. Boston, Ally and Bacon, 1971. 231p.
- NEPTUNE, A.M.L.; MURAOKA, T. Aplicação de uréia em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar carioca. **Revista Brasileira de Ciência de solo**, Campinas, 2(1): 51-55. 1978.
- OMETTO, J. C. Registros e estimativas dos parâmetros meteorológico da Região de Piracicaba, SP. Piracicaba, FEALQ. 1991. 76p.

- PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C., **Análise quantitativa do crescimento de comunidade vegetal**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1987. 33p. (IAC. Boletim Técnico, 114).
- PONS, A. L.; GOEPFERT, C. F. Efeito da adubação nitrogenada em feijoeiro I. Solo Camquã. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, **11**(2): 250-266. 1975.
- PORTES, T. A. Manual de métodos de pesquisa em feijão. Parâmetros fisiológicos e agrônômicos comumente empregados na pesquisa com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) Goiânia: **EMBRAPA**, 1981. 22p. Suplemento I.
- RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fósforo e Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.
- ROSOLEM, C. Nutrição e adubação do feijoeiro. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1987. (Boletim Técnico,8) 55p.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. Análise química em plantas. Piracicaba, ESALQ/USP, 1974. 55p.
- SARTORATO, A. Principais doenças da parte aérea do feijoeiro comum e seus controles. In: A. L. FANCELLI; DOURADO NETO (ed.). Feijão Irrigado, 3 ed. Piracicaba, ESALQ/USP, 1992. p. 102-116.
- SHANI, M. La fertilization combinada com el riego. Israel, Ministério de Agricultura, 1981. 36p.
- SILVA, H. T. da Caracterização morfológica, agrônômica e fenológica de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) comumente plantadas em diversas regiões do Brasil. **EMBRAPA/CNPAP**, Goiânia, 51p. (Circular Técnica, 15) 1981.

Van GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, 41:892-8, 1980.

VEIHMEYER, V. J.; HENDRICKSON, A. H. Methods of measuring field capacity and wilting percentage of soil. **Soil Science**, **68**: 75-94. 1949.

VEIHMEYER, V. J.; HENDRICKSON, A. H. Soil moisture in relation to plant growth. **Ann. Plant. Physiology**. p.285-304. 1950.

VENDRAMIM, J. D. Pragas da cultura de feijão irrigado. **In**: A. L. FANCELLI; D. DOURADO NETO (ed) Feijão Irrigado, 3 ed. Piracicaba, ESALQ/USP, 1992. p. 82-91.

VIETS Jr., F. G.; HUMBERT, R. P.; NELSON, C. E. Fertilizers in relation to irrigation practice. **In**: HAGAN, R. M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T. W. ed. Irrigation of agricultural lands. Madison, Am. Soc. of Agronomy, 1967. (Agronomy **11**: p. 1009-1023).

APÊNDICE: Dados climatológicos

Tabela 48. Radiação solar (R_s , cal/cm².dia), insolação (I, horas/dia), chuva (C, mm), umidade relativa (UR, %), velocidades do vento máxima (Vmax, km/h) e média (Vmed, m/s), temperaturas máxima (Tmax, °C), mínima (Tmin, °C) e média (Tmed, °C), evaporação do tanque classe A e direção do vento (Dv) às 7 (D₇), 14 (D₁₄) e 21 (D₂₁) horas referentes ao mês de **abril** de 1995 em Piracicaba, SP.

dia	R_s	I	C	UR	Vmax	Vmed	Tmax	Tmin	Tmed	ECA	Dv		
	cal/cm ² .d	h/d	mm	%	m/s	km/h	°C	°C	°C	mm	D ₇	D ₁₄	D ₂₁
1	227	2,0	15,6	92	8,7	12,4	27,5	19,2	23,4	6,52	N	NW	W
2	491	10,5	-	74	5,0	7,3	28,0	19,0	23,5	6,46	N	W	W
3	473	10,9	-	75	5,7	9,1	28,4	12,9	20,7	5,46	E	S	SE
4	449	10,1	-	77	7,2	9,5	29,4	16,1	22,8	4,91	E	E	E
5	438	10,0	-	76	7,2	5,9	30,6	16,1	23,4	4,78	C	NE	E
6	345	6,2	-	81	2,0	4,1	30,4	16,9	23,7	2,87	C	E	E
7	405	5,9	-	81	5,8	4,6	31,5	19,2	25,4	5,67	E	NE	E
8	302	3,9	-	88	4,4	5,0	30,9	17,4	24,2	3,40	NE	N	W
9	341	4,0	8,0	89	10,7	7,8	31,2	18,6	24,9	4,30	N	N	S
10	398	8,0	0,2	90	5,7	6,8	31,4	18,3	24,9	4,44	NE	N	NE
11	408	8,5	7,7	84	7,8	9,1	31,2	19,0	25,1	5,56	NE	W	NW
12	356	6,9	-	76	7,6	8,4	25,8	18,8	22,3	5,36	C	SW	S
13	461	10,2	-	77	9,7	11,3	26,0	10,4	18,2	5,08	S	SE	SE
14	462	10,5	-	74	9,9	10,3	27,2	13,4	20,3	5,30	SE	SE	SE
15	437	10,5	-	77	4,8	5,4	28,8	11,8	20,3	3,32	SE	N	S
16	438	10,2	-	78	3,9	5,7	29,2	12,8	21,0	4,60	S	SW	S
17	413	8,1	-	77	4,1	5,0	29,8	14,0	21,9	4,30	SE	E	E
18	384	8,6	-	77	3,6	4,3	30,0	15,8	22,9	3,80	S	N	SE
19	374	9,7	7,4	75	5,4	5,8	32,5	18,8	25,7	3,83	E	N	NE
20	80	0,3	46,8	99	5,0	2,4	27,8	20,0	23,9	5,83	SE	NW	SW
21	222	3,2	-	90	3,6	7,5	26,2	18,0	22,1	2,92	NW	SE	SE
22	323	6,9	-	87	1,0	4,4	27,0	14,8	20,9	2,66	S	NW	W
23	377	8,4	-	80	5,0	6,1	28,0	15,0	21,5	4,48	E	NW	W
24	408	10,3	-	76	2,0	4,8	28,5	13,2	20,9	4,04	S	NW	S
25	389	8,9	-	82	4,9	6,8	29,8	13,7	21,8	4,44	W	NE	SE
26	351	8,6	-	85	4,0	4,5	30,1	13,5	21,8	3,36	NW	NW	SW
27	330	6,2	-	84	7,0	7,2	28,1	16,4	22,3	2,76	C	NW	SE
28	356	8,6	-	84	1,0	4,3	29,7	15,2	22,5	8,02	NW	NW	S
29	365	8,5	-	80	3,6	7,2	30,0	15,5	22,8	4,20	E	W	E
30	381	9,9	-	76	1,0	4,8	31,4	15,1	23,3	3,00	E	NE	E

Fonte: Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ, USP

Tabela 49. Radiação solar (Rs, cal/cm².dia), insolação (I, horas/dia), chuva (C, mm), umidade relativa (UR, %), velocidades do vento máxima (Vmax, km/h) e média (Vmed, m/s), temperaturas máxima (Tmax, °C), mínima (Tmin, °C) e média (Tmed, °C), evaporação do tanque classe A e direção do vento (Dv) às 7 (D₇), 14 (D₁₄) e 21 (D₂₁) horas referentes ao mês de maio de 1995 em Piracicaba, SP.

dia	Rs	I	C	U	Vmax	Vmed	Tmax	Tmin	Tmed	ECA	Dv		
	cal/cm ² .d	h/d	mm	R %	m/s	km/h	°C	°C	°C	mm	D ₇	D ₁₄	D ₂₁
1	362	9,6	-	76	3,0	5,3	32,0	15,5	23,8	4,00	E	NE	SE
2	332	9,4	-	78	4,6	7,3	30,1	15,5	22,8	4,45	E	W	SE
3	365	10,1	-	83	4,2	6,2	28,0	16,1	22,1	4,09	S	S	S
4	311	6,3	-	80	1,0	5,8	29,6	13,3	21,5	1,94	E	NE	E
5	273	3,2	0,4	81	1,0	5,0	29,5	14,2	21,9	3,06	E	NW	NE
6	125	-	7,5	97	1,0	5,8	23,3	19,2	21,3	0,26	E	NE	E
7	156	0,3	0,5	96	1,0	5,0	24,0	19,9	22,0	1,14	E	N	NE
8	276	5,3	-	88	2,0	3,8	26,7	16,4	21,6	2,58	E	E	S
9	311	6,9	5,3	86	13,2	4,7	27,7	15,8	21,8	3,54	C	N	S
10	92	0,2	15,2	98	7,2	6,7	18,7	17,5	18,1	0,68	S	NE	S
11	249	5,3	-	90	1,5	4,4	23,3	12,5	17,9	0,62	SE	W	S
12	323	7,1	-	85	1,0	3,2	26,9	12,8	19,9	3,22	SW	NE	S
13	351	7,8	-	82	3,1	5,3	29,0	13,1	21,1	3,34	C	E	SE
14	324	6,7	-	83	1,0	4,9	29,4	13,7	21,6	3,02	C	NW	SE
15	297	5,5	-	83	1,0	5,7	29,5	14,6	22,1	3,11	E	NE	E
16	255	5,2	30,6	91	11,3	6,2	29,3	15,6	22,5	4,97	E	NE	N
17	323	8,5	-	85	3,5	4,3	29,3	16,9	23,1	3,19	E	SW	SE
18	122	0,1	4,5	90	7,7	10,6	22,7	16,7	19,7	2,12	S	SE	SE
19		9,7	-	79	3,2	7,7	22,0	11,9	17,0	4,63	S	S	S
20	288	7,8	0,2	79	2,0	5,1	22,2	8,1	15,2	2,56	SE	S	SE
21	260	5,4	-	83	1,0	4,3	22,3	10,0	16,2	1,26	E	SE	SE
22	336	7,4	-	82	1,0	4,4	23,8	8,9	16,4	2,31	S	N	S
23	297	6,1	-	88	4,2	5,8	25,1	10,0	17,6	2,35	W	SW	SE
24	276	6,8	-	85	1,0	4,8	25,7	12,0	18,9	2,08	SW	NE	S
25	275	5,4	-	84	9,0	9,0	25,2	13,4	19,3	2,46	SW	S	SE
26	291	7,2	-	81	6,0	14,4	22,4	13,4	17,9	4,26	S	SE	SE
27	324	9,3	-	83	4,6	4,1	26,2	12,7	19,5	2,66	SE	E	SE
28	300	7,6	-	80	2,5	3,8	27,4	11,8	19,6	2,26	C	NW	S
29	266	6,2	-	86	3,2	6,0	25,0	12,5	18,8	1,76	C	W	C
30	344	9,4	-	78	6,2	6,8	24,0	12,1	18,1	3,12	C	S	E
31	350	9,5	-	81	3,6	6,1	23,7	8,7	16,2	2,85	SW	W	S

Fonte: Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ, USP

Tabela 50. Radiação solar (R_s , cal/cm².dia), insolação (I , horas/dia), chuva (C , mm), umidade relativa (UR , %), velocidades do vento máxima (V_{max} , km/h) e média (V_{med} , m/s), temperaturas máxima (T_{max} , °C), mínima (T_{min} , °C) e média (T_{med} , °C), evaporação do tanque classe A e direção do vento (D_v) às 7 (D_7), 14 (D_{14}) e 21 (D_{21}) horas referentes ao mês de **junho** de 1995 em Piracicaba, SP.

dia	R_s	I	C	UR	V_{max}	V_{med}	T_{max}	T_{min}	T_{med}	ECA	D_v		
	cal/cm ² .d	h/d	mm	%	m/s	km/h	°C	°C	°C	mm	D_7	D_{14}	D_{21}
1	338	9,3	-	78	6,0	8,1	26,0	9,0	17,5	2,94	E	W	S
2	318	8,4	-	73	4,7	6,9	26,8	10,3	18,6	3,57	E	W	SE
3	312	9,4	-	82	4,5	5,8	25,2	11,4	18,3	2,98	S	S	SE
4	318	6,8	-	75	2,2	6,4	25,4	9,6	17,5	3,60	E	SW	SE
5	323	8,4	-	75	3,0	7,7	26,2	6,4	16,3	1,36	E	NE	E
6	315	9,7	-	74	5,2	8,2	27,0	8,9	18,0	3,26	E	N	NE
7	329	9,7	-	75	4,5	7,9	28,0	10,8	19,4	3,50	E	N	E
8	282	8,5	-	77	5,4	11,3	27,6	9,9	18,8	1,80	E	N	SE
9	315	8,2	-	73	3,7	7,3	28,2	11,2	19,7	5,06	E	NE	NE
10	339	9,2	-	68	3,7	8,6	27,6	9,2	18,4	3,97	E	N	SE
11	311	9,7	-	73	4,2	6,5	28,4	10,6	19,5	3,27	E	SE	SE
12	291	8,8	-	82	1,0	5,8	27,6	10,6	19,1	2,64	SE	W	S
13	290	9,3	-	78	3,9	7,6	27,6	9,6	18,6	2,44	E	W	SE
14	306	8,8	-	77	1,0	7,8	27,5	10,6	19,1	3,22	E	SW	E
15	309	8,5	-	73	3,0	7,6	28,1	10,1	19,1	3,00	E	N	E
16	242	8,1	-	68	5,0	7,9	28,5	14,7	21,6	3,82	E	NW	NE
17	122	1,6	2,7	92	11,2	7,0	24,6	12,9	18,8	0,49	E	SW	E
18	105	0,1	10,2	98	4,3	4,9	21,6	16,0	18,8	0,99	E	E	W
19	177	2,6	-	88	4,7	10,1	21,4	13,2	17,3	2,40	SW	SE	S
20	342	9,0	-	83	6,0	9,0	22,6	10,4	16,5	3,00	SW	SE	SE
21	227	3,5	-	87	2,2	4,8	22,8	9,0	15,9	1,64	S	E	E
22	296	6,9	-	83	2,0	6,6	27,0	11,2	19,1	2,12	E	NE	S
23	318	8,8	-	80	3,4	7,4	28,0	11,1	19,6	3,16	E	NE	E
24	303	8,1	-	70	4,3	11,7	27,4	12,0	19,7	3,99	E	NE	E
25	93	0,2	10,6	97	22,6	5,7	18,8	17,3	18,1	2,17	NE	NW	E
26	246	6,2	-	88	3,2	3,0	24,8	14,0	19,4	1,82	E	C	S
27	308	8,3	-	81	1	6,6	29,2	12,1	20,7	2,86	E	NE	E
28	320	9,6	-	73	4,8	8,1	29,8	12,4	21,1	2,98	E	N	SE
29	170	0,4	-	86	3,9	10,7	21,9	15,1	18,5	1,01	SE	S	SE
30	276	6,5	-	87	4,0	9,9	23,1	11,4	17,3	3,97	C	SE	SE

Fonte: Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ, USP

Tabela 51. Radiação solar (R_s , $\text{cal/cm}^2\text{.dia}$), insolação (I , horas/dia), chuva (C , mm), umidade relativa (UR , %), velocidades do vento máxima (V_{max} , km/h) e média (V_{med} , m/s), temperaturas máxima (T_{max} , °C), mínima (T_{min} , °C) e média (T_{med} , °C), evaporação do tanque classe A e direção do vento (D_v) às 7 (D_7), 14 (D_{14}) e 21 (D_{21}) horas referentes ao mês de **julho** de 1995 em Piracicaba, SP.

dia	R_s	I	C	UR	V_{max}	V_{med}	T_{max}	T_{min}	T_{med}	ECA	D_v		
	$\text{cal/cm}^2\text{.d}$	h/d	mm	%	m/s	km/h	°C	°C	°C	mm	D_7	D_{14}	D_{21}
1	315	8,1	-	78	1,0	7,1	26,8	10,4	18,6	3,06	E	NE	E
2	311	9,0	-	77	3,1	6,7	28,5	11,0	19,8	2,86	E	N	E
3	305	9,6	-	77	3,4	5,7	28,4	13,0	20,7	3,40	E	W	S
4	311	9,3	-	81	4,8	8,8	26,3	13,3	19,8	3,54	E	E	SE
5	317	8,2	-	72	5	9,3	28,3	11,5	19,9	3,33	E	N	NE
6	297	8,5	-	66	9,7	11,0	29,0	15,6	22,3	3,61	E	NW	NE
7	258	6,6	0,5	70	10,0	7,3	29,5	15,9	22,7	4,30	E	NW	N
8	81	-	7,2	98	4,0	7,0	16,7	13,8	15,3	0,24	SW	NW	SE
9	62	-	44,1	90	2,0	4,5	17,4	14,7	16,1	2,94	SE	E	E
10	153	3,0	1,0	93	1,0	5,5	22,7	15,2	19,0	0,89	S	NE	SE
11	327	7,2	-	86	1,0	5,1	25,2	10,0	17,6	2,37	E	NE	SE
12	318	7,8	-	77	2,5	7,0	27,1	10,2	18,7	2,97	E	E	SE
13	312	9,6	-	77	1,0	7,5	28,7	11,1	19,9	1,75	E	NE	E
14	291	6,8	-	74	2,0	6,3	29,0	12,0	20,5	4,17	E	NE	E
15	189	1,8	-	81	1,0	6,1	28,2	15,0	21,6	2,11	E	E	SE
16	194	2,2	-	80	1,0	5,8	28,8	17,6	23,2	2,72	E	NE	SE
17	302	7,8	-	74	4,2	6,0	29,3	14,4	21,9	3,08	E	NE	E
18	284	6,1	-	72	5,1	8,3	26,7	14,1	20,4	3,52	E	N	E
19	257	3,6	-	62	12	10,1	28,0	12,0	20,0	4,28	E	N	E
20	134	0,8	0,4	82	12,7	9,3	20,4	17,9	19,2	1,78	E	SW	E
21	185	2,9	5,9	95	7,2	8,7	21,2	11,2	16,2	1,72	S	SW	E
22	219	4,8	-	92	2,0	5,3	20,2	11,0	15,6	1,28	S	W	C
23	305	5,9	-	82	1,0	5,1	25,1	7,7	16,4	2,28	E	SW	E
24	344	9,7	-	72	2,5	6,8	29,3	9,7	19,5	3,32	E	N	E
25	338	9,6	-	72	1,0	7,3	29,6	11,1	20,4	3,96	E	E	E
26	342	8,8	-	71	3,8	7,4	29,4	12,6	21,0	3,72	E	NE	E
27	317	9,1	-	72	6,6	7,8	29,5	12,0	20,8	3,39	E	N	E
28	374	9,7	-	63	7,1	9,1	29,7	15,1	22,4	6,13	E	N	E
29	359	8,7	-	67	2,5	8,0	31,0	14,8	22,9	4,60	E	N	E
30	347	9,7	-	74	2,9	7,2	30,0	12,9	21,5	2,40	E	W	S
31	345	9,5	-	72	1,0	6,6	30,3	12,3	21,3	3,94	E	N	S

Fonte: Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ, USP

Tabela 52. Radiação solar (R_s , $\text{cal/cm}^2\text{.dia}$), insolação (I , horas/dia), chuva (C , mm), umidade relativa (UR , %), velocidades do vento máxima (V_{max} , km/h) e média (V_{med} , m/s), temperaturas máxima (T_{max} , $^{\circ}\text{C}$), mínima (T_{min} , $^{\circ}\text{C}$) e média (T_{med} , $^{\circ}\text{C}$), evaporação do tanque classe A e direção do vento (D_v) às 7(D_7), 14 (D_{14}) e 21 (D_{21}) horas referentes ao mês de agosto de 1995 em Piracicaba, SP.

dia	R_s	I	C	UR	V_{max}	V_{med}	T_{max}	T_{min}	T_{med}	ECA	D_v		
	$\text{cal/cm}^2\text{.d}$	h/d	mm	%	m/s	km/h	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	Mm	D_7	D_{14}	D_{21}
1	356	9,8	-	69	4,0	8,1	29,2	12,4	20,8	5,10	E	NE	E
2	360	9,8	-	71	6,2	8,2	29,4	10,3	19,9	4,66	E	W	SE
3	335	7,8	-	68	3,0	7,9	31,5	13,0	22,3	3,14	E	NW	NW
4	302	5,4	0,9	84	8,3	12,6	23,4	14,9	19,2	5,08	SE	SE	SE
5	128	-	0,3	92	5,5	10,3	16,8	13,5	15,2	1,92	S	S	SE
6	326	6,3	-	88	4,8	8,2	23,8	12,0	17,9	2,76	S	S	SE
7	348	9,5	-	82	5,0	7,6	31,6	12,5	22,1	4,04	S	N	SE

Fonte: Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ, USP