BALANÇOS HIDRICO E DE ENERGIA E A RESPOSTA FISIOLÓGICA
PARA A CULTURA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.)

MAURO JANUARIO
(Meteorologista)

Orientador: Dr. Orivaldo Brunini

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia, Área de
Concentração: Agrometeorologia.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil
Novembro - 1992

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - FCLQ/USP

Januário, Mauro

J35b Balanços hídrico e de energia e a resposta fisiológica para a cultura de trigo (Triticum aestivum L.). Piracicaba, 1992.

111p.

Diss.(Mestre) - ESALQ

Bibliografia.

1. Meteorologia agrícola 2. Trigo - Balanço hídrico 3. Trigo - Balanço de energia I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.11

BALANÇOS HIDRICO E DE ENERGIA E A RESPOSTA FISIOLÓGICA
PARA A CULTURA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.)

MAURO JANUARIO

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia, Área de
Concentração: Agrometeorologia.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo – Brasil
Novembro – 1992

BALANÇOS HÍDRICO E DE ENERGIA E A RESPOSTA FISIOLÓGICA
PARA A CULTURA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.)

MAURO JANUÁRIO

Aprovada em 14 de dezembro de 1992.

Comissão Julgadora:

Dr. ORIVALDO BRUNINI	IAC
Prof. Dr. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI	ESALQ/USP
Dr. LUIZ ANTONIO MARTINELLI	CENA/USP

Dr. ORIVALDO BRUNINI
Orientador

*"Naqueles anos, dissemos tantas coisas
que ninguém dirá mais, que ninguém sa-
beria mais dizer, que ninguém saberá
mais compreender... coisas que seriam
incompreensíveis e que nos deram tanta
alegria... isto desaparecerá conosco."*

George Braque (1882-1963)

à você, Lê,

DEDICO

Aos *Genaro* e aos *Moschella*, de ontem e de hoje

A G R A D E C I M E N T O S

Ao Dr. Orivaldo Brunini, pela orientação e apoio ao longo do curso de Pós-Graduação e, principalmente, pelo despertar à ciência agrometeorológica, ainda na graduação.

Ao prof. Dr. Nilson Villa Nova, modelo de profissional competente e despojado, que nunca se furtou à ajuda.

Aos pesquisadores da Seção de Climatologia Agrícola do Instituto Agronômico de Campinas, pelo auxílio constante durante a execução do trabalho de campo.

Ao pesquisador João C. Felício, do IAC, pelo constante apoio, troca de idéias e sugestões apresentadas.

Ao pesquisador Dr. Flávio A. Bussmeyer, do IAC, pelas sugestões e contínua ajuda.

Aos técnicos agrícolas Sérgio Lopes e Fábio Lopes, pela eficiência na coleta de dados.

Ao Instituto Agronômico de Campinas, pelas facilidades para a implantação do projeto de campo.

A Seção de Trigo e Cereais de Inverno do IAC, pelo fornecimento das sementes utilizadas e pela cessão da fonte de neutrôns.

Ao curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia, pela possibilidade de obter o título de mestre.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em

Agronometeorologia, do Depto. de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, pela excelência dos conhecimentos transmitidos e pelo cordeal ambiente encontrado.

Ao prof. Dr. Paulo L. Libardi, pela disponibilidade do Laboratório de Física dos Solos da ESALQ/USP.

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudo.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação e, especialmente, aos amigos Artur Muller, Zildene Pedrosa e Irene Trevejo, pela convivência sempre gratificante e estimulante.

A amiga Ana Maria, do Depto. de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, por toda a colaboração durante e após o curso.

A D. Elvira, funcionária da Seção de Climatologia do IAC, por toda dedicação a mim dispensada.

A Fundação Faculdade de Agronomia "Luiz Meneghel" (FFALM), pela facilidade na elaboração da dissertação.

Aos amigos do Depto. de Engenharia e Economia Rural da FFALM, pelo constante estímulo e apoio.

Aos professores da FFALM, Maria A. Valério, Walter Candioto, José R. Portugal e Rogério B. Macedo, pela ajuda no tratamento dos dados e utilização computacional.

SUMARIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xiii
SUMMARY.....	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Considerações gerais sobre o trigo.....	5
2.2. Evapotranspiração.....	7
2.2.1. Estimativa de evapotranspiração.....	12
2.2.1.1. Balanço hídrico.....	13
2.2.1.2. Balanço energético.....	16
2.3. Avaliação do crescimento da cultura.....	18
2.3.1. Taxa de crescimento da cultura.....	19
2.3.2. Eficiência no uso da água.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1. Caracterização do experimento.....	24
3.1.1. Descrição do local.....	24
3.1.2. Condições climáticas.....	24
3.1.3. Características das cultivares.....	25
3.1.4. Delineamento experimental.....	25
3.2. Instrumentação.....	27
3.2.1. Radiação líquida.....	29

	vii
3.2.2. Fluxo de calor no solo.....	29
3.2.3. Gradiente de temperatura do ar.....	30
3.2.4. Perfil de umidade do solo.....	31
3.2.5. Balanço hídrico de campo.....	32
3.2.5.1. Precipitação e irrigação.....	34
3.2.5.2. Drenagem profunda.....	35
3.2.5.3. Armazenamento de água.....	38
3.2.6. Balanço de energia.....	38
3.2.7. Análise de crescimento da cultura.....	41-
3.2.7.1. Eficiência no uso da água.....	42
3.2.8. Dados complementares.....	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1. Balanço hídrico de campo.....	44
4.1.1. Precipitação e irrigação.....	51
4.1.2. Armazenamento de água no solo.....	52
4.1.3. Drenagem profunda.....	52
4.1.4. Evapotranspiração real.....	56
4.2. Balanço de energia.....	62
4.2.1. Análise dos termos do balanço.....	63
4.2.2. Razão de Bowen.....	69
4.3. Crescimento da cultura.....	73-
4.3.1. Matéria seca.....	74-
4.3.2. Taxa de crescimento da cultura.....	81-
4.3.3. Eficiência no uso da água.....	82
5. CONCLUSÕES.....	87
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	91 _x
APENDICE.....	104

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema da área experimental, definindo as parcelas (1, 2, 3, 4) utilizadas para as análises do balanço hídrico nos lados A e B; assinalados para os locais de instalação de equipamentos para o balanço de energia. Adaptado de Sakai (1989).....	28
Figura 2. Variações da evapotranspiração real (ER) diária, estimada pelo balanço hídrico de campo, para as cultivares IAC-24 (2.a) e IAC-287 (2.b), nos lados A (frequentemente irrigado) e B (menos irrigado).....	53
Figura 3. Variações da evapotranspiração real (ER) diária, estimada pelo balanço hídrico de campo, entre as cultivares IAC-24 e IAC-287, nos lados frequentemente irrigado (A) (3.a) e menos irrigado (B) (3.b).....	54
Figura 4. Comportamentos da razão entre a evapotranspiração real (ER), estimada pelo balanço hídrico de campo, e a evapotranspiração potencial (EP), estimada pelo tanque classe A, confrontando os lados A e B para	

para IAC-24 (4.a) e IAC-287 (4.b).....	61
Figura 5. Comportamento horário das componentes do balanço de energia em cultura de trigo, pa- ra os dias 03/jul/89 (5.a) e 17/jul/89 (5.b), em Campinas.....	64
Figura 6. Comportamento horário das componentes do balanço de energia em cultura de trigo, pa- ra os dias 02/ago/89 (6.a) e 08/ago/89 (6.b), em Campinas.....	66
Figura 7. Comportamento horário das componentes do balanço de energia em cultura de trigo, pa- ra o dia 29/ago/89.....	68
Figura 8. Variações horárias da razão de Bowen, para os dias 03/jul (8.a) e 17/jul (8.b).....	70
Figura 9. Variações horárias da razão de Bowen, para os dias 02/ago (9.a) e 08/ago (9.b).....	71
Figura 10. Variação horária da razão de Bowen para o dia 29/ago.....	72
Figura 11. Produção total de matéria seca (MS), entre os lados A e B, para as cultivares IAC-24 (11.a) e IAC-287 (11.b).....	78
Figura 12. Comportamentos da taxa de crescimento da cultura (TCC) entre os lados A e B para IAC-24 (12.a) e IAC-287 (12.b).....	83

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Dados dos termos do balanço hídrico semanal de precipitação (P), irrigação (I), variação de armazenamento (A), drenagem profunda (Qz), evapotranspiração real no período (ER/p), obtidos na cultivar IAC-24 no lado irrigado frequentemente (lado A). Os valores calculados a partir do tanque classe A estão entre parênteses..... 45
- Tabela 2. Dados dos termos do balanço hídrico semanal de precipitação (P), irrigação (I), variação de armazenamento (A), drenagem profunda (Qz), evapotranspiração real no período (ER/p), obtidos na cultivar IAC-24 no lado menos irrigado (lado B). Os valores calculados a partir do tanque classe A estão entre parênteses..... 46
- Tabela 3. Dados dos termos do balanço hídrico semanal de precipitação (P), irrigação (I), variação de armazenamento (A), drenagem profunda (Qz), evapotranspiração real no período (ER/p), obtidos na cultivar IAC-287 no lado A. Os valores calculados a partir

do classe A estão entre parenteses.....	47
Tabela 4. Dados dos termos do balanço hídrico semanal de precipitação (P), irrigação (I), var. de armazenamento (A), drenagem profunda (Qz), evapotranspiração real no período (ER/p), obtidos em IAC-287 no lado B. Os valores calculados a partir do tanque classe A estão entre parenteses.....	48
Tabela 5. Valores médios semanais da umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (u), coeficiente de tanque classe A (E), evapotranspiração potencial diária (ETo) e do período (ETo/p).....	50
Tabela 6. Valores da razão entre a evapotranspiração real (ER), calculada pelo balanço hídrico, e a evapotranspiração potencial (ETo), calculada pela evaporação do tanque classe A e coeficiente de cultura (kc), encontrados em Doorenbos & Kassam (1979), para os períodos semanais do balanço de água nas cultivares IAC-24 e IAC-287, nos lados A e B.....	59
Tabela 7. Produção total de matéria seca das cultivares IAC-24 e IAC-287, nos lados A e B, analisando a diferença da produção (DIF. MS) de cada cultivar, entre os lados, através do teste "t" de Student, ao nível de	

5% de significância.....	75
Tabela 8. Produção total de matéria seca das cultivares IAC-24 e IAC-287, nos lados A e B, analisando a diferença da produção das cultivares, em cada lado, através do teste "t" de Student, ao nível de 5% de significância.....	76
Tabela 9. Taxa de crescimento da cultura calculada para IAC-24 e IAC-287, nos lados A e B, analisando a diferença das taxas (DIF.TCC) de cada cultivar, entre os lados, através do teste "t" de Student.....	79
Tabela 10. Taxa de crescimento da cultura calculada para IAC-24 e IAC-287, nos lados A e B, analisando a diferença das taxas entre as cultivares em cada lado, através do teste "t" de Student.....	80
Tabela 11. Eficiência no uso da água para as cultivares IAC-24 e IAC-287, nos lados A e B, calculados a partir da produção total de matéria seca (MS) e evapotranspiração real (ER), calculada pelo balanço hídrico de campo.....	84

BALANÇOS HÍDRICO E DE ENERGIA E A RESPOSTA FISIOLÓGICA
PARA A CULTURA DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.)

Autor: Mauro Januário

Orientador: Orivaldo Brunini

RESUMO

A utilização da irrigação na agricultura brasileira, principalmente nos últimos anos, tem demonstrado a conscientização dos agricultores para a melhoria da produtividade das culturas com as quais trabalham. Entretanto, o uso da técnica de aplicação de uma determinada lâmina de água de água, especificamente na cultura de trigo, não tem merecido, de uma forma geral no Brasil, uma base ideal de pesquisas que concluam o momento e a quantidade a ser aplicada, que pudesse definir o máximo de retorno, expresso pelo aumento na produção. Nesse sentido, a contribuição deste trabalho é o de avaliar a perda de água, no decorrer do ciclo vegetativo da cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.), utilizando a estimativa do consumo de água através dos métodos do balanço hídrico no campo e balanço de energia; assim como, analisando o desempenho fisiológico da

cultura, através da produção total de matéria seca, taxa de crescimento da cultura e eficiência no uso da água.

O estudo foi realizado no Centro Experimental de Campinas, pertencente ao Instituto Agronômico de Campinas, entre os meses de maio e setembro de 1989, em área de aproximadamente 3.0ha de relevo plano, cujo solo é latossolo roxo eutrófico.

O balanço hídrico de campo, usando a técnica de moderação de neutrôns, foi conduzido semanalmente em áreas plantadas com duas variedades de trigo (IAC-24 e IAC-287), nas quais eram aplicadas diferentes níveis de água por irrigação. O consumo médio de água para ambas cultivares, desde o emborrachamento até a maturação, foi de 188.2mm. A evapotranspiração real (ER) foi maior para as cultivares submetidas à maior disponibilidade de água no solo. A perda por ER foi maior para a cultivar IAC-287.

Os termos do balanço de energia foram obtidos em área semeada com a cultivar IAC-24, adjacente à área do balanço hídrico. Durante o ciclo do trigo foram selecionados 5 dias considerados típicos para a estimativa da evapotranspiração, que variou entre 3.8 e 9.1mm.dia⁻¹. Verificou-se que o balanço de energia sempre apresentou valores maiores de evapotranspiração, quando comparados com o método do balanço hídrico.

A produção total de matéria seca foi maior para a cultivar IAC-24, comparando com a IAC-287, submetidas

ao estresse hídrico. Na área irrigada o desempenho da IAC-24 não foi tão pronunciado.

Verificou-se que a eficiência do uso da água, quando as culturas estão submetidas à solo na capacidade de campo, é muito maior do que em estresse hídrico. Para a cultivar IAC-24 a eficiência é sistematicamente maior, independentemente da disponibilidade de água no solo.

WATER AND ENERGY BALANCES AND THE PHYSIOLOGICAL RESPONSE
FOR WHEAT (*Triticum aestivum* L.)

Author: Mauro Januário

Adviser: Orivaldo Brunini

SUMMARY

The utilization of irrigation in the Brazilian agriculture, in the recent years, have demonstrated the conscientization of agriculturists to increase the productivity. However, the application of determined water levels to the wheat crop, in Brazil, haven't reached an ideal aspect as to the decision about the moment and the amount of water to be applied to establish the maximum production.

Then, the contribution of this work is to estimate the loss of water during the vegetative cycle of the wheat (*Triticum aestivum* L.), through the water balance in the field and energy balance technique, as well analysing the physiological performance of this crop as related to dry matter production, crop growth rate and water use efficiency.

The study was carried out at Centro Experi-

mental de Campinas of the Instituto Agronômico of Campinas, between may and september of 1989, on a plane surface, which soil is characterized dusky latosol.

The water balance, using the moderate neutrons technique, was done weekly on areas with two varieties of wheat (IAC-24 and IAC-287). They were submitted to different water levels during the growing cycle. The average water consume for the variety, from tillering until maturity was 188.2mm. The greater actual evapotranspiration occurred for the variety subjected to larger water availability. The lossier water was to IAC-287.

The energy balance parameters were obtained over IAC-24, at area neighbouring to that for water balance. During the crop cycle were chosen 5 characteristics days to estimate the evapotranspiration, and such parameter varied 3.8 and 9.1mm.day⁻¹.

The larger dry matter production was observed on IAC-24 variety, when compared to IAC-287, subjected to water stress. At the irriated area the IAC-24 fulfilment was not so pronounced as in the other one.

The water use efficiency, when the soil is in field capacity, is greater than when the soil is under water deficits. For the IAC-24 variety the water use efficiency is systemactly larger, independently of the available water in the soil.

1. INTRODUÇÃO

O trigo, alimento universal do Homem, é um dos produtos mais consumidos no mundo devido à sua grande aceitação e ao seu valor nutritivo. Consequência dessa demanda, aproximadamente 30% da área cultivada mundialmente é ocupada pela cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.).

O cereal, que é originário do sudeste asiático e conhecido desde 4500 A.C., cujas exigências climáticas na época de cultivo (baixas precipitação e temperatura do ar) determinaram as características básicas do trigo, foi introduzido no Brasil, primeiramente na Capitania de São Vicente (atual estado de São Paulo), na metade do século XVI por Martin Afonso de Souza, quando as sementes eram trazidas de Portugal e progressivamente se alastrando pelas áreas e clima ameno do sul do país (Bayma, 1960).

O trigo começa ser cultivado no Rio Grande do Sul em 1737, com os primeiros, imigrantes oriundos dos Açores, exportando toneladas de grãos para a Argentina a partir da segunda década do século XIX. O declínio da produção ocorreu alguns anos depois, em 1867, com surgimento da ferrugem. O cultivo reaparece no final do

século quando imigrantes italianos e alemães trouxeram variedades que se adaptaram muito bem às condições do sul do país (Lagos, 1983).

Atualmente a área plantada com trigo no Brasil é de cerca de 2.7 milhões de ha, classificando-o na vigésima posição em volume de produção (os estados do Rio Grande do Sul e Paraná representam 90% da produção nacional). Apesar disso e da obtenção de variedades mais resistentes às enfermidades e salinidade, o rendimento médio da triticultura brasileira coloca-o no quinquagésimo-nono lugar em produtividade, com uma média de 1154 Kg.ha^{-1} , sendo que a média mundial é 40% maior (A.E.B., 1991).

As várias causas agronômicas para explicar a baixa produtividade referem-se a deficiências hídricas em períodos de estabelecimento da cultura, chuvas na época de colheita, pragas e doenças.

O desenvolvimento pleno de uma planta, determinando um máximo de produção, resulta da ação simultânea das condições intrínsecas do vegetal com o ambiente que a envolve. Então o conhecimento da ecofisiologia deve subsidiar os fito-melhoristas nos estudos de novas variedades de trigo que sejam menos susceptíveis às condições desfavoráveis de solo e clima.

Estudos sobre a interação dos fatores climáticos com uma cultura têm-se desenvolvido muito ultimamente, através da micrometeorologia, permitindo avaliar os processos de transferência turbulenta de

momentum, calor sensível e vapor de água entre a superfície vegetada e a atmosfera.

O fluxo de água que ocorre no contínuo solo-planta-atmosfera, ou seja, a absorção da água do solo pelo sistema radicular, a translocação da seiva e a transpiração pelas plantas, é função direta do decréscimo do potencial da água ao longo da via de fluxo. Apesar de que 98% da quantidade total de água absorvida pela cultura no decorrer do ciclo é perdida por transpiração (Reichardt, 1985), o transporte interno da água é necessário ao desenvolvimento da planta e, portanto, a disponibilidade hídrica no solo deve sempre permanecer em níveis ideais. Compreendendo como se realiza a perda de água de uma superfície vegetada, processo físico denominado "evapotranspiração real", diferentemente nos vários estádios de desenvolvimento e sob desiguais condições do meio que a envolve, possibilita o controle racional da reserva de água no solo, conduzindo à produção otimizada da cultura. A exigência é de que haja um conhecimento quantitativo dos estágios críticos de crescimento da cultura e as respectivas sensibilidades aos déficits de água (Singh, 1981).

Tendo como objetivo básico o conhecimento do manejo da quantidade de água no solo, estabelecendo um nível de disponibilidade hídrica adequada para a planta, o trabalho foi conduzido para avaliar a quantidade de água perdida pela cultura do trigo para duas cultivares de

características diferentes (IAC-24 e IAC-287), nas diversas fases do ciclo cultural. A evapotranspiração real foi estimada através de 2 métodos: **balanço hídrico**, admitindo que os fluxos (horizontais e verticais) de água no sistema solo-planta-atmosfera se processam de maneira equilibrada, determinados pela lei da conservação das massas; e **balanço energético**, fracionando as energias consumidas nos diversos fenômenos físicos, dentre eles a evapotranspiração.

Para avaliar o desempenho de cada cultivar estudado, obteve-se, por último, a eficiência do uso de água, parâmetro que avalia a produção da cultura em relação ao consumo de água, estabelecido pela evapotranspiração real.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Considerações gerais sobre o trigo

O trigo (Triticum aestivum L.) é uma planta de ciclo anual da família das gramíneas, originária de região asiática, cujo clima se caracteriza pela baixa precipitação e acentuada variação anual da temperatura do ar. Aos poucos, com a introdução da cultura em outras partes do mundo e, principalmente, através da manipulação genética, com a criação de variedades resistentes, a triticultura é praticada em todas as regiões do globo, exceto na faixa de latitudes maiores do que 65°.

No Brasil, especificamente na região sudeste, o trigo é plantado preferencialmente no outono, apresentando temperatura média do ar suficientemente baixa e relativa umidade do solo, permitindo o desenvolvimento vegetativo e o espigamento normal das plantas (Camargo, 1988). Ultimamente a produção brasileira tem-se mantido estável, na medida em que existem cultivares menos susceptíveis às doenças e uma racionalização do aproveitamento do solo com a rotação do trigo com culturas de verão (Camargo, 1990).

Segundo Doorenbos & Kassam (1979) a duração média do ciclo da cultura do trigo é de 130 dias, sendo dividida em 5 estádios fenológicos, a saber:

estabelecimento, 10 dias; período vegetativo (perfilhamento, 20 dias e emborrachamento, 30 dias); florescimento, 20 dias; espigamento, 30 dias; maturação, 20 dias.

Em cada fase do ciclo a planta tem um desempenho diferente em relação às condições impostas pelo meio. Nas etapas iniciais do desenvolvimento, o trigo apresenta uma forte resistência à geada. Tal característica muda no decorrer do ciclo, apresentando, no período de floração, a esterilização das espigas (Doorenbos & Kassam, 1979).

A literatura indica que quase todos os processos metabólicos e fisiológicos da planta podem sofrer interferência devido ao estresse de água, dependendo de sua duração (Hsiao & Acevedo, 1974). Apesar de que haja tolerância ao déficit hídrico durante o ciclo, em estágios específicos, a relação com a disponibilidade de água varia grandemente. Pequenos déficits no período vegetativo pode acelerar a maturação. O efeito do estresse hídrico durante a iniciação floral e no desenvolvimento determina um número potencial de grãos. Um pequeno estresse de água pode induzir a taxa de aparecimento dos primórdios florais. Se for severo ou prolongado, o número total de espigas pode ser reduzido. As fases de florescimento e fertilização são muito sensíveis aos déficits de água, afetando o número de grãos por espiga e o número de espigas férteis do trigo. Talvez, tal efeito seja devido à interferência com o

desenvolvimento sexual das espiguetas ou à disponibilidade de nutrientes minerais e carboidrato durante o pré-florescimento. A fotossíntese, após o florescimento, é a principal responsável pelo incremento de peso seco da espiga. Consequentemente uma deficiência hídrica neste período, pela redução da translocação dos fotossintetizados, devido à diminuição do processo fotossintético, reduziria consideravelmente a produção. Na fase final, a baixa disponibilidade de água para a planta não representa perda de produção (Lomas, 1987).

2.2. Evapotranspiração

A água, que é o solvente universal, é um fator fundamental na produção das plantas e a condição de não disponibilidade de água (seca) é a causa primária do crescimento reduzido das culturas em escala mundial (Scott et alii, 1987). Entretanto, a maior parte da água absorvida pelo sistema radicular é perdida para a atmosfera. Mantendo a turgidez das folhas, participando da fotossíntese e sendo o meio no qual são transportados os nutrientes e a seiva elaborada, a água torna-se essencial à vida.

A quantidade de água requerida pelas plantas depende de várias condições: a primeira é a planta em si, de acordo com o tipo e estágio de desenvolvimento; em sequência temos as características do solo e as condições meteorológicas reinantes (temperatura, radiação solar,

umidade do ar e vento) (Seemann, 1979).

Os processos de absorção, translocação e transpiração dependem do potencial da água no solo, da condutividade hidráulica, característica intrínseca ao solo, que fornece água em uma velocidade que deve atender à demanda exigida pela planta, através da perda de água pelas folhas, sendo esta última função das condições micrometeorológicas e da própria fisiologia do vegetal. Em áreas de clima árido ou semi-árido, ou em regiões nas quais a probabilidade de ocorrência de veranicos seja elevada, as plantas, para sobreviverem, devem ter na dinâmica do balanço de água (diferença entre transpiração e absorção pela raiz) um sistema de absorção da água no solo eficiente (Mc Caig & Romagosa, 1989).

A perda de água de uma superfície vegetada está especialmente ligada à energia disponível, enquanto que outras perdas ocorrem devido ao run-off e à drenagem profunda e, nesta transferência, inclui-se o processo evaporativo da água contida no solo e a transpiração das plantas, que é função dos estádios de crescimento e desenvolvimento do vegetal (French & Schultz, 1984).

As grandes quantidades de energia consumidas na evapotranspiração são fornecidas pelo balanço de energia da superfície evaporante, que é constituído pelo balanço de radiação e do balanço de energia advectiva. O fluxo de massa na horizontal (advecção) é definido como uma troca de energia, umidade ou momentum devido à heterogeneidade da

superfície, portanto assumir uma uniformidade horizontal do microclima e do fluxo evaporativo pode ser um erro (Millar, 1964). Thom (1972) também refere-se à uma área vegetada como uma superfície aerodinamicamente rugosa.

O controle básico do movimento de água através da planta depende da condutância estomática, sendo que este parâmetro é afetado pela luz, déficit da pressão de vapor, temperatura da folha, concentração intercelular de CO_2 e condição de água na folha (Seaton et alii, 1977). Tal movimento sofre resistências em todo o percurso, desde as raízes, através das quais a água do solo entra na planta, até as folhas, nas quais a água é perdida para a atmosfera. O obstáculo à difusão de vapor é composto pelas resistências à transferência através da camada limite superficial (resistências aerodinâmica e estomática ao transporte de vapor de água) (Volpe, 1986). A resistência aerodinâmica é função da dissipação turbulenta de calor e massa na interface entre a vegetação e o ar. Por outro lado, a resistência estomática é controlada pela ação de abertura e fechamento dos estômatos das folhas. Essas duas resistências atuam em série, influenciando direta e indiretamente nos processos de fotossíntese e evapotranspiração, pois os fluxos de CO_2 do ar para o interior das plantas e de vapor de água das plantas para a atmosfera são controlados pelas duas resistências (Costa et alii, 1988).

No seu estudo com trigo, Hatfield (1985) determinou que a resistência do dossel vegetativo, sob

condições próximas à evapotranspiração potencial, aumenta linearmente com o decréscimo da água disponível no solo. A deficiência hídrica causa o fechamento das células guardas dos estômatos, evitando um balanço de água negativo (perda por transpiração maior do que a absorção pelas raízes), conseqüentemente paralisa o consumo de CO_2 , afetando a fotossíntese e, por fim, a produção.

Se o estresse hídrico for severo, o fechamento parcial dos estômatos causa uma repartição da energia incidente, resultando, frequentemente, no aumento das temperaturas da planta e do ar, afetando a evapotranspiração, como demonstra o estudo de Reicosky et alii (1980) com soja: a evapotranspiração decresceu de 40 a 70% associada ao aumento de 4 a 5°C na temperatura do ar dentro da cultura, sugerindo que este parâmetro possa ser utilizado como uma medida indireta do decréscimo da evapotranspiração resultante da deficiência hídrica em condições de campo.

Os processos de transpiração, fotossíntese e respiração são dependentes do conteúdo de água no solo. Quando o suprimento de água para a planta for ótimo, verificam-se aumentos nas taxas dos três processos. Com a condição hídrica ideal para a planta o consumo de água por unidade de matéria seca produzida é reduzido, atingindo altas produções. Analisando o transporte de água através de plantas de trigo, Denmead & Millar (1976) definiram que os potenciais de água ao longo da planta dependem da

distribuição das áreas de evaporação e dos gradientes de potencial de água na planta toda. Kalinin (1981), estudando a produtividade do trigo de primavera, variando a disponibilidade de água no solo, concluiu que o maior consumo de água pela planta, através da transpiração (aproximadamente 550 mm), ocorreu no estágio de crescimento, quando a umidade do solo foi mantida de 75 a 85% da capacidade de campo.

No ciclo do trigo, segundo Frizzone & Olitta (1990), que estudaram os efeitos da supressão de água em diferentes fases de crescimento, os períodos mais críticos ao déficit hídrico acontecem do início do florescimento à fase de grão no estado leitoso, ocorrendo uma redução de 49% no rendimento, e do início ao final da formação da espiga e o espigamento, diminuindo 38% a produtividade.

No trabalho de Meyer & Green (1980) os resultados demonstraram que a cultura do trigo, quando apresenta um sistema radicular bem desenvolvido, consegue extrair água do solo na taxa da evapotranspiração potencial entre 100% e até aproximadamente 80% do total de água disponível pela planta; se o sistema radicular não for completamente desenvolvido a taxa de evapotranspiração declinará antes do nível de 80%.

Inúmeros autores estimaram, por diferentes processos, a evapotranspiração em trigo. Trabalhando com épocas de semeadura e consumo de água, Bondarenko & Nesterets (1978) determinaram limites da evapotranspiração durante o ciclo entre 268 a 382 mm, para períodos secos, e

entre 377 a 454 mm, para períodos úmidos. Para os estudos de Fischer & Kohn (1966) as taxas de evapotranspiração diária variaram de 1.33 mm durante o inverno e 4.1 mm na primavera, para cultivos densos e umidade do solo alta. Brun et alii (1985) determinaram a perda de água diária em 3.5 mm, quando a umidade do solo foi favorável e 3.0 mm em condições de seca. Em pesquisas desenvolvidas em Viçosa/MG, Garrido et alii (1979), mencionadas por Frizzone & Olitta (1990), a evapotranspiração acumulada foi de 378.4 mm e 3.9 mm.dia⁻¹. Comparando métodos de plantio (direto e convencional), em condições não irrigadas, Angelocci et alii (1983) estimaram que os valores máximos da perda de água pela cultura, nos dois métodos, ocorreram na fase final do espigamento, obtendo o valor de 3.9 mm.dia⁻¹.

2.2.1. Estimativa de evapotranspiração

Dentre os vários métodos de estimativa da perda total de água por uma superfície vegetada, os balanços hídrico e energético balanços hídrico e energético correspondem à quase totalidade dos estudos nesta área. Recentemente, entretanto, tem sido implementada, neste tipo de pesquisa, o uso de aviões, que oferece uma real possibilidade para a observação regional da evapotranspiração (Schuepp et alii, 1987); e satélites, através do sensoriamento remoto da temperatura da superfície vegetada (Klaassen & Berg, 1985).

2.2.1.1. Balanço hídrico

Uma das principais afirmações nas relações da água do sistema solo-planta-atmosfera é que o crescimento da planta é controlado diretamente pelo déficit de água nas plantas, que ocorre quando a perda por transpiração excede a absorção da água pela raiz, e somente indiretamente pelos déficit de água no solo e estresse atmosférico (Ritchie, 1974).

A evapotranspiração ocorre numa taxa que depende da demanda evaporativa da atmosfera até que o suprimento de água pelo solo seja suficientemente esgotado, aumentando, então, a resistência à perda de água pela cultura, sendo esta o resultado à resposta fisiológica das plantas ao estresse hídrico. As condições hídricas, sob as quais as culturas se desenvolvem, são estabelecidas pelo balanço hídrico da superfície vegetada, que é a contabilização dos fluxos de entrada e saída de água de um certo elemento de volume de solo, resultando uma quantidade de água armazenada. O balanço é a própria lei da conservação das massas, sendo fundamental para a análise agrônômica (Reichardt, 1985).

O volume de solo considerado delimita-se entre a superfície do solo e uma profundidade que compreenda, no mínimo, 80% do sistema radicular da cultura (Ometto, 1981). O limite inferior depende da cultura em estudo. Doorenbos & Kassam (1979) definem que, em geral, de

50 a 60% da absorção total de água ocorre nos primeiros 30 cm e de 20 a 25% nos seguintes 30 cm. Conclui-se que na camada de 0 a 60 cm ocorre de 70 a 85% da extração de água, que está relacionada diretamente com a densidade das raízes.

A precipitação (P) e a irrigação (I) representam os fluxos de entrada de água no volume de solo. As quantidades de água que saem são constituídas pela percolação, ou drenagem profunda (Q_z), evapotranspiração (ER) e deflúvio superficial, ou "run off" (DS).

A drenagem profunda descreve a perda de água através do limite inferior do volume de solo. Entretanto, em condições de estresse hídrico, a água pode entrar na zona radicular determinada. A avaliação deste termo do balanço é feita através da equação de Darcy para movimentos verticais de água no solo.

O "run off", dependendo da inclinação do terreno, pode somar-se às entradas ou às saídas de água, e, sendo a superfície exatamente horizontal, ser considerado nulo ou desprezível.

Em determinado intervalo de tempo, o saldo de água no solo é dado pela variação de água armazenada no perfil de solo definido, ou seja, se a quantidade de água que entra, no período, for maior do que a saída, o saldo será positivo; e, do contrário, negativo (Libardi, 1984).

O cálculo da evapotranspiração, através do balanço hídrico, requer as quantidades da precipitação, irrigação, variação de armazenamento, drenagem profunda e

"run off", normalmente desprezado.

Dentre os métodos de determinação do perfil da umidade, obtendo o armazenamento de água no solo, destaca-se o da moderação de neutrons, que consiste em determinar o poder de dissipação de neutrons emitidos por uma fonte radioativa em um volume de solo, tem comprovado ser um dispositivo eficiente para monitorar o conteúdo de umidade do solo e é correntemente usado para várias aplicações (Cuenca, 1988; Klar, 1984).

A variabilidade natural observada na umidade do solo, resultantes da heterogeneidade das propriedades do solo, pode ser grande o suficiente para alterar resultados e valores médios, não permitindo que se caracterize fundamentalmente a perda de água por evapotranspiração. Estudos demonstraram que variações naturais dentro de um tipo de solo simples pode reduzir uma grande disparidade no conteúdo de água dentro de uma área relativamente pequena, sendo, portanto, conveniente incluir considerações sobre as variabilidades espacial e temporal dos solos em condições de campo (Wetzel & Chang, 1987; Oliveira & Reichardt, 1991).

Vários autores nacionais estimaram a perda de água por evapotranspiração, utilizando o balanço hídrico com a técnica da moderação de neutrons para diversas culturas. Entre outros, Ferraz (1972), Cruciani (1972), Brunini (1975) e Sakai (1989).

2.2.1.2. Balanço energético

Um dos principais problemas na micrometeorologia é a quantificação da energia radiante disponível entre o solo e as plantas, distribuídas entre os processos de transpiração, perda de calor sensível, armazenamento e fotossíntese.

Através do balanço de energia é possível verificar como são efetuadas as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera, em diferentes condições de tempo (André, 1981). O balanço energético equaciona os fluxos de energia que incidem e que deixam uma área qualquer, medindo a energia disponível ao sistema natural para efetuar os diversos processos físicos (Goudriaan, 1977). Portanto, o balanço energético está baseado no princípio físico da conservação de energia (Sellers, 1974).

A perda de água por uma superfície vegetada necessita de energia, estabelecida como saldo dos fluxos de radiação solar e da atmosfera, da diferença de temperatura entre a área plantada e o ar e pela troca de calor contido no solo.

Segundo Villa Nova (1975) os primeiros estudos de balanço de energia iniciaram com Bowen, em 1926, determinando a razão entre os fluxos de calor sensível e calor latente sobre uma superfície líquida em função da temperatura do ar e pressão de vapor. A dificuldade da aplicação da razão de Bowen é a sua dependência com os

gradientes de temperatura e pressão, assim como da condição de estabilidade atmosférica (André, 1981). Portanto, como assegura Villa Nova (1975) uma das limitações ao uso do método do balanço de energia é a estimativa incorreta da razão em situações de atmosfera não neutra.

Angus & Watts (1984) concluem que, sob condições de solo úmido, o balanço de energia utilizado para determinar a evapotranspiração de uma área vegetada pode dar bons resultados. Entretanto, alertam que o método pode não ter um nível razoável de confiança sob condições muito secas de solo. Nestas situações o erro absoluto da perda de água é pequeno, devido ao próprio baixo valor da evapotranspiração. No entanto, a sensibilidade exigida nas medidas dos gradientes de temperatura é uma ordem de magnitude maior do que seria esperado pela maioria dos equipamentos utilizados para a estimativa da razão de Bowen. Ainda segundo os autores, a primeira suposição para o uso deste método é a de que os coeficientes de transferências turbulentas para calor sensível e vapor sejam idênticos (condição de neutralidade atmosférica). Além disso, os níveis nos quais os gradientes de temperatura e umidade são definidos devem estar dentro da camada limite do fluxo advectivo, implicando um extenso "fetch". Frequentemente a advecção de calor sensível tem uma grande influência nas partições de energia, incrementando a evapotranspiração (Kim, 1989). Supondo que a maioria dos estudos que se utilizam do método é feita sob condições ideais de disponibilidade de água, certamente

nestas circunstâncias bons resultados são obtidos.

Entretanto, quando da aplicação da irrigação em condições de solo seco, ocorrem trocas consideráveis nos componentes do balanço de energia (maior absorção da radiação de onda curta, devido ao decréscimo do albedo, e um aumento do consumo de calor pela evaporação), indicando que a avaliação do efeito da irrigação deve ser baseada, não somente nos valores absolutos, como nas estimativas das trocas dos componentes do balanço de energia (Budyko, 1958).

A primeira utilização desta técnica para a estimativa da evapotranspiração real ocorreu no início da década de 50. Desde então muitos autores têm-se valido de tal método com o objetivo de determinar a perda de água para diversas culturas (Nkemdirim & Halley, 1973; Johnson et alii, 1981; Bergamaschi, 1984; Santos, 1985; Sansigolo, 1988).

2.3. Avaliação do crescimento da cultura

O desenvolvimento das culturas é o resultado da interação direta entre as características intrínsecas das plantas (genótipo) e as condições do meio ambiente (Braz, 1983; Arruda, 1989). O ambiente inclui parâmetros climáticos e de solo, podendo ser manejado para aumentar a produção; os parâmetros do clima determinam o nível da demanda atmosférica, e os parâmetros do solo a disponibilidade de água às plantas (Singh et alii, 1987).

A análise de crescimento vegetal se fundamenta, como conceitua Benincasa (1986), no fato de que aproximadamente 90% da matéria seca acumulada resulta da atividade fotossintética, sendo o restante através da absorção de nutrientes do solo. Trabalhando com trigo de inverno, Green et alii (1983) determinaram uma relação linear entre o crescimento da cultura e a produção total de matéria seca com a radiação interceptada pelo dossel. Entretanto, a grande maioria dos parâmetros, que descrevem o desenvolvimento vegetal, não pode quantificar a importância da fotossíntese e dos nutrientes separadamente.

Dentre as diversas medidas das avaliações de crescimento e do desenvolvimento vegetal, está a taxa de crescimento da cultura, parametrizada referencialmente quanto à produtividade total da planta, cuja variável mais importante se destaca a eficiência do uso da água.

2.3.1. Taxa de crescimento da cultura

Para a análise da matéria seca de um vegetal existem 2 fases distintas, segundo Manfron (1985): um período inicial mais lento, no qual a planta depende de reservas da semente; seguindo um rápido crescimento com o desenvolvimento das raízes e a emergência das folhas, garantindo os suprimentos de nutrientes, água e o processo fotossintético. Desta forma, a planta atinge o tamanho definitivo, iniciando um decréscimo na acumulação da

matéria seca (fase de senescência).

Aggarwal & Sinha (1983), avaliando a produção de matéria seca total em cultura de trigo, demonstraram que a produção foi maior nas plantas irrigadas do que em situação de não irrigação, sendo que a matéria seca total aumentou com o tempo até a fase de pré-florescimento (75 a 90 dias após o plantio) e então começou a declinar.

Segundo Hunt (1981), o parâmetro que relacionava o peso da matéria seca total acumulada por unidade de área de terreno, em um certo período de tempo, foi denominado como a taxa de crescimento da cultura, definida como um simples e importante índice de produtividade agrícola. Para o estudo do crescimento do trigo, em condições subtropicais, Angus et alii (1980) estimaram que a máxima taxa de crescimento foi de $14 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

Modelos matemáticos, usados para o estudo do crescimento da planta e produção de matéria seca da cultura de trigo, têm permitido obter boas relações entre as estimativas e os dados observados (Hanks & Puckridge, 1980; Hodges & Kanemasu, 1977).

2.3.2. Eficiência do uso da água

A produtividade total em função da água disponível foi intensamente estudada para várias culturas (Brunini et alii, 1983; Ribeiro et alii, 1991; Oliveira,

1991). Um dos principais fatores limitantes à produção de qualquer cultura é a deficiência hídrica (Bolger & Matches, 1990).

A razão entre a produção de grãos e o volume de água perdida pelo processo de evapotranspiração foi definida como a eficiência no uso da água (e.u.a.) (Angus et alii, (1980). Outros métodos são comumente usados para a determinação da e.u.a., entre eles estão o cálculo pela razão entre a taxa de troca de CO_2 pela taxa de transpiração e a divisão do acúmulo de matéria seca pela perda de água por transpiração (Heitholt, 1989).

A e.u.a., que é considerada um componente importante de adaptação à seca, varia dentro e entre as espécies de cultura (Ehdaie et alii, 1991), sendo que para plantas C_3 a eficiência é 90% menor do que as C_4 . Entretanto, a e.u.a. pode ser alterada por práticas de manejo de cultura (Badaruddin & Meyer, 1989).

Cochran et alii (1982), avaliando efeitos dos resíduos de culturas na eficiência do uso da água e produção da cultura de trigo de inverno durante 3 anos, verificaram com o aumento da precipitação ao longo do estudo, um aumento na eficiência do uso da água, definindo uma proporcionalidade direta com o aumento da água disponível com a produção de grãos.

French & Schultz (1984) determinaram o valor de 37 kg.ha^{-1} por mm de uso de água, para a produção de matéria seca e, para a produção de grãos, 12.7 kg.ha^{-1} por

mm de uso de água. Os mesmos autores relatam alguns fatores que limitam a produção do trigo, como a disponibilidade de nutrientes na eficiência do uso da água e encharcamento do solo.

Estudos sobre a variação do conteúdo de água no solo, feitos por Kalinin (1981) em cultura de trigo, concluíram que o consumo de água variou de 600 a 700 g de água por grama de grão quando a disponibilidade de água no solo passou de 45 a 95% da capacidade de campo.

Trabalhando com as variáveis latitude, aplicação de nitrogênio e água no solo, Hatfield et alii (1988), determinaram que para o nível de 50 kg.ha⁻¹ de N a e.u.a., para o trigo de inverno, variou de 3.75 a 39.67 kg.ha⁻¹.mm⁻¹; e para 160 kg.ha⁻¹ a e.u.a. variou de 11.99 a 36.43 kg.ha⁻¹.mm⁻¹, concluindo que, apesar de que a evapotranspiração não seja afetada pela disponibilidade de N, a produção de grãos e, portanto, da eficiência do uso da água aumentou com níveis de nitrogênio e água.

Rickert et alii (1987) encontraram que as eficiências médias estimadas foram 10.6 e 8.9 kg.ha⁻¹.mm⁻¹, para solos arenoso e argiloso, respectivamente.

Steinmetz et alii (1991), relacionando a produção de matéria seca em função da disponibilidade de energia solar durante o ciclo de uma cultura, determinaram a eficiência do uso de água para trigo, calculada para períodos semanais, em 35.3 kg.ha⁻¹.mm⁻¹.

Conforme foi relatado, não se nota, para regiões tropicais, nas quais a maior parte do Brasil se

encontra, um conjunto extenso de pesquisas que definem a relação entre o crescimento da cultura de trigo com a disponibilidade de água no solo. A irrigação, técnica cada vez mais aproveitada e indispensável a uma ótima produção, necessita de um conhecimento completo da utilização da água pela planta em todas as fases do desenvolvimento da cultura, visando um manejo racional e, portanto, menos dispendioso.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do experimento

3.1.1. Descrição do local

O experimento foi conduzido no Centro Experimental de Campinas do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo (IAC), cujas coordenadas geográficas são: latitude $22^{\circ}53'S$, longitude $47^{\circ}04'W$ e altitude 706 metros.

O solo da área experimental é caracterizado como latossolo roxo eutrófico argiloso, localizado em terreno cuja declividade é de aproximadamente 2%.

3.1.2. Condições climáticas

A região de Campinas apresenta, segundo a classificação de Koppen, o tipo climático "Cwa", definindo um clima temperado quente (mesotérmico) com predominância de chuvas no verão com inverno seco, onde a temperatura do mês mais frio é inferior a $18^{\circ}C$ e no mês mais quente a temperatura é superior a $22^{\circ}C$. Os dados meteorológicos normais da região, fornecidos pela Seção de Climatologia Agrícola do IAC, estão apresentados no Apêndice 1.

3.1.3. Características dos cultivares

Os cultivares de trigo utilizados foram as variedades Tukurui (IAC-24) e YACO (IAC-287), provenientes do programa de melhoramento genético da Seção de Trigo e Cereais de Inverno do IAC, que forneceu as sementes. A cultivar IAC-24 vem sendo aproveitada comercialmente há alguns anos, principalmente no Vale do Paranapanema/SP; a IAC-287 ainda está em fase de pesquisas, motivo pelo qual ela foi utilizada neste trabalho.

A variedade IAC-24, cujo ciclo (maturação à colheita) é de 120 dias, apresenta moderada susceptibilidade à ferrugem do colmo, sendo tolerante à toxicidade de alumínio (Al^{3+}), alcançando uma produtividade média de 2842 Kg.ha^{-1} (Felício et alii, 1988).

A variedade IAC-287 apresentou bom desempenho na experimentação nos últimos anos. Caracteriza-se pela resistência às ferrugens de colmo e folhas, é susceptível ao Al^{3+} e a produção total média é cerca de 6% maior do que as produções de variedades mais antigas, como IAC-24 e Anahuac (Felício et alii, 1980).

3.1.4. Delineamento Experimental

O experimento constou de 2 áreas adjacentes, totalizando, aproximadamente 3.2ha (conforme a Fig. 1.). Em

uma das áreas (aproximadamente de 2.0ha) foram instalados os equipamentos para a estimativa dos termos do balanço de energia, que são: radiômetro líquido, placas de fluxo de calor no solo e termopares, para a medida do gradiente de temperatura do ar.

O mastro, no qual foram montados os termopares, determinando o comportamento da temperatura do ar, dentro e acima da cultura, estava a cerca de 80 metros para o interior do campo vegetado, em relação ao laboratório, no qual estavam o sistema de aquisição de dados e os registradores. O radiômetro líquido e as placas de fluxo de calor no solo distavam cerca de 60 metros do laboratório.

A outra área (1.2ha) foi utilizada para os acompanhamentos do balanço hídrico e da análise de crescimento. Segundo o esquema da Fig. 1, foram semeadas intercaladamente, parcelas com as cultivares IAC-24 e IAC-287, respeitando o espaçamento lateral de 0.6m, entre as parcelas. A área foi dividida em duas partes de dimensões aproximadamente iguais. Em cada lado a área utilizada no experimento foi subdividida em 16 parcelas de $92m^2$, totalizando, assim $1472m^2$. O restante foi considerado área de bordadura.

Na área determinada para o balanço de energia realizou-se a semeadura no dia 03 de maio de 1989, sendo que a emergência ocorreu no dia 8 de maio. Na área destinada ao balanço hídrico a semeadura foi realizada no

dia 23 de maio de 1989 e a emergência aconteceu no dia 29 de maio. Em ambas as áreas o espaçamento foi de 0.20m entre as linhas de plantio, semeando 80 sementes viáveis por metro de sulco.

A adubação, na época de plantio, a lanço, constou de 20Kg de N, 60Kg de P_2O_5 e 20Kg de K_2O por hectare, nas formas de sulfato de amônio, superfosfatado simples e cloreto de potássio, respectivamente.

Os dois lados foram definidos a partir de níveis de irrigação adotados. O denominado **lado A** define a área irrigada sempre que o tensiômetro de acompanhamento indicava 0.01MPa. O **lado B** irrigava-se menos frequentemente, ou seja, somente quando a tensão de água no solo, medida através do tensiômetro, instalado a 25cm de profundidade, atingisse 0.05MPa, conforme a recomendação por técnicos em irrigação.

3.2. Instrumentação

Os aparelhos utilizados para as avaliações dos diferentes parâmetros envolvidos nos estudos dos balanços de energia e de água foram instalados em vários pontos da área experimental, conforme está assinalado na Fig. 1.

3.2.1. Radiação líquida

Para medir o saldo de radiação sobre a cultura utilizou-se um radiômetro líquido da Midleton Instruments, cuja sensibilidade é de $(30.85 \pm 2.5\%)$ mV por $\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$. O aparelho foi aferido pouco tempo antes de sua instalação, contra um semelhante do Depto. de Física e Meteorologia da ESALQ/USP. A cúpula de polietileno foi inflada através de um fluxo de ar produzido por uma bomba de aquário, passando anteriormente por um recipiente contendo sílica-gel para o dessecamento do ar. O aparelho permaneceu, durante todo o experimento, na altura de 2.16m da superfície do solo.

O balanço de radiação foi registrado graficamente em intervalos de 2 minutos, através de um sistema de aquisição de dados, desenvolvido pela Seção de Climatologia Agrícola.

A determinação do fluxo de radiação líquida foi obtida a partir dos valores do registro multiplicados pelo fator de correção do registrador, fornecendo a radiação média para períodos de uma hora.

3.2.2. Fluxo de calor no solo

A determinação do fluxo de calor no solo foi obtida a partir de 4 placas de fluxo, instaladas a 5cm de profundidade. Duas placas (F253 e F225), com constante média de $(18.55 \pm 3\%)$ mV por $\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$, foram montadas

em paralelo na entrelinha; o outro par (F223 e F247), também em paralelo, cuja constante média é de $(18.98 \pm 3\%)$ mV por $\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$, estava na linha de plantio.

O fluxo de calor no solo foi determinado através da média de registros ajustados pela constante do registrador, para cada par de placas, proporcionando o fluxo médio para intervalos de uma hora.

3.2.3. Gradiente de temperatura do ar

Para medir os gradientes de temperatura do ar seco e úmido utilizou-se um mastro telescópico, com altura máxima de 3.5m, no qual foram montados termômetros de pares termoelétricos de cobre-constantan. Os termopres, antes do florescimento, foram dispostos às alturas 0.7, 1.1, 1.7, 2.2, 2.8m e, após este estágio fenológico, mudadas para 0.8, 1.3, 1.9, 2.3, 2.9m, montados aos pares, definindo os termômetros seco e úmido, com a utilização de gaze embebida em água. Evitando a incidência direta de raios solares, os termopares estavam em abrigos construídos de PVC, com diâmetros de 6 polegadas, cobertos com papel alumínio e revestidos, internamente, com isopor, projetados pela Seção de Climatologia Agrícola, direcionados na linha Norte-Sul.

A base do mastro era o local no qual se situava a junção fria (0°C), sistema vedado e isolado termicamente, contendo gelo fundente, repostado regularmente, responsável pela referência nas respostas diferenciais em

função da energia do meio.

As observações das temperaturas dos termopares eram feitas para cada nível e registrado em papel, sendo que o tempo total mínimo gasto para a aquisição dos dados era de 2 minutos. As temperaturas, seca e úmida, foram determinadas através das médias horárias dos valores registrados após a conversão de milivoltagem para graus.

3.2.4. Perfil de umidade do solo

A umidade do solo foi determinada pelo método da moderação de neutrons, utilizando uma Fonte de Neutrons, modelo Troxler, série 3333. Segundo Libardi (1989), a calibração da sonda foi concluída em junho de 1989, obtendo-se através da análise de regressão a seguinte equação:

$$\theta = 0.357.CR + 0.0845 \quad (\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O} \cdot \text{cm}^{-3} \text{ solo}) \quad (3.1)$$

Sendo: θ umidade do solo a certa profundidade; e CR a contagem relativa registrada pelo instrumento.

As variações semanais da umidade do solo, durante o ciclo completo da cultura, foram feitas para todo o perfil, amostrando-se 3 profundidades (30, 60 e 70 cm). A umidade da superfície do solo foi obtida pelo processo gravimétrico, consistindo em coletar um volume de solo na

superfície e pesá-lo, obtendo o peso úmido (Pu). Esta amostra é colocada em estufa a 105°C durante 48 horas, alcançando o peso seco (Ps). A umidade a 0cm é estimada pela seguinte expressão, segundo Reichardt (1985):

$$U = \frac{P_u - P_s}{P_s} \quad (g_{H_2O} \cdot g^{-1} \text{ solo seco}) \quad (3.2)$$

A fim de compatibilizar as unidades das unidades obtidas pelos meios gravimétrico e técnica nuclear é necessário o conhecimento da densidade global (dg) do perfil, utilizando, como consta em Reichardt (1985), a fórmula que segue:

$$\theta = u \cdot dg \quad (cm^3_{H_2O} \cdot cm^{-3} \text{ solo}) \quad (3.3)$$

Conforme utilizado por Sakai (1989), o valor da densidade global é 1.21 g solo seco $\cdot cm^{-3}$ solo.

A umidade do perfil, para os períodos considerados, foi determinada pela média ponderada das umidades nos 4 níveis referidos anteriormente.

3.2.5. Balanço hídrico no campo

A contabilização dos vários fluxos que envolvem o balanço hídrico em certo elemento de volume de solo, cuja avaliação final determina a quantidade de água disponível às plantas, foi realizada semanalmente na área experimental, que foi dividida igualmente em duas

superficial (ds), ou run off, e o fluxo de vapor de água da superfície (qe); a drenagem profunda (qz) é uma componente que tanto pode contribuir com entrada de água para o sistema (sinal positivo), quanto diminuir a disponibilidade hídrica, devido à saída do sistema (sinal negativo).

As integrais espacial e temporal do termo II determinam uma variação de armazenamento de água (ΔA), positiva ou negativa, na camada de solo em questão.

Integrando a expressão (3.4), obtém-se a expressão final do balanço de massa:

$$P + I - DS - ER \pm QZ \pm \Delta A = 0 \quad (3.5)$$

onde ER define a evapotranspiração real.

O "run off", ou escoamento superficial, foi desprezado no cálculo do balanço, devido à pequena declividade do campo experimental (cerca de 2%).

A profundidade L da camada de solo, na qual se concentra aproximadamente 80% do sistema radicular da planta, foi avaliada em 60cm (Doorenbos & Kassam, 1979).

3.2.5.1. Precipitação e Irrigação

A precipitação foi medida através de um pluviômetro ao lado do campo experimental.

A quantidade de água irrigada foi determinada utilizando um coletor ao lado de cada tubo de acesso para a sonda.

3.2.5.2. Drenagem profunda

O cálculo da drenagem profunda (q_z) no limite inferior (60cm) do volume de solo considerado foi feito utilizando a equação de Darcy, qual seja:

$$q_z = -k(\theta) \cdot \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad (\text{cm}) \quad (3.6)$$

onde $\frac{\partial \psi}{\partial z}$ é o gradiente vertical de potencial hidráulico e $k(\theta)$ é a condutividade hidráulica do solo (mm.h^{-1}).

O potencial hidráulico é o somatório dos potenciais matricial (ψ_m) e gravitacional (z) de água no solo. Então a equação (3.6) torna-se:

$$q_z = -k(\theta) \cdot \frac{\partial (\psi_m + z)}{\partial z} = -k(\theta) \cdot \frac{\partial \psi_m}{\partial z} - k(\theta) \quad (3.7)$$

O cálculo do gradiente vertical matricial pode ser aproximado, segundo Reichardt (1985), pela variação das médias dos potenciais de pressão no início do período (t_1), nas profundidades 50 e 70cm ($\psi_{m1,50}$ e $\psi_{m1,70}$) e no final do período (t_2) ($\psi_{m2,50}$ e $\psi_{m2,70}$), dividido pela diferença de profundidades (Δz). Portanto a expressão é dada por:

$$\frac{\partial \psi_m}{\partial z} \approx \frac{\frac{(\psi_{m1,50} - \psi_{m1,70})}{2} - \frac{(\psi_{m2,50} - \psi_{m2,70})}{2}}{\Delta z} \quad (3.8)$$

Os valores dos potenciais matriciais (ψ_m) foram obtidos através dos tensiômetros, de acordo com a

seguinte fórmula:

$$\psi_m = -12.6 h + h_1 + h_2 \quad (3.7)$$

onde h é leitura do tensiômetro (cmHg), h_1 é a altura do nível do mercúrio na cuba e h_2 é a profundidade da cápsula porosa.

Determinou-se a condutividade hidráulica do solo da área experimental em função da umidade pelo método descrito por Reichardt & Libardi (1975).

A dependência da condutividade hidráulica, em função da umidade foi descrita pela seguinte expressão:

$$k(w) = 1.678 \cdot 10^{-7} \cdot m_i^4 \cdot e^{(-12.235 \cdot w^2 + 28.061 \cdot w)} \quad (3.10)$$

O termo m_i é definido como a inclinação da curva da variação temporal da frente de molhamento, estimada em laboratório com o valor de 1.25.

O termo w é uma unidade adimensional definida como segue:

$$w = \frac{\bar{\theta} - \theta_o}{\theta_s - \theta_o} \quad (3.11)$$

onde $\bar{\theta}$ é a umidade média do perfil, θ_o é a umidade do solo seco ao ar e θ_s é a umidade de saturação, cujos valores, obtidos em laboratório, são os seguintes:

$$\theta_o = .032 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$$

$$\theta_s = .550 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$$

Para o cálculo de $k(w)$ são necessárias as unidades médias do perfil no início do período de coleta dos dados ($\bar{\theta}_{t_1}$) e no final ($\bar{\theta}_{t_2}$), obtidas pelas seguintes razões :

$$\bar{\theta}_{t_1} = \frac{At_1}{L} \quad (3.12)$$

$$\bar{\theta}_{t_2} = \frac{At_2}{L} \quad (3.13)$$

onde At_1 e At_2 são os armazenamentos de água no solo nos instantes definidos; e L a profundidade efetiva (60 cm).

A partir destes dados, calculam-se as unidades adimensionais wt_1 e wt_2 , no início e no final do período, respectivamente, obtendo-se, pela substituição destes valores na expressão (3.10), as condutividades hidráulicas $K(wt_1)$ e $K(wt_2)$.

Para a obtenção da drenagem profunda q_z , através de (3.7), a condutividade hidráulica utilizada é a média simples entre as condutividades, ou seja :

$$k(\theta) = \frac{k(wt_1) + k(wt_2)}{2} \quad (3.14)$$

Então o valor da drenagem profunda, para o balanço hídrico semanal, em unidade de mm, é dado por:

$$Q_z = q_z \cdot (t_2 - t_1) \cdot 10 \quad (\text{mm}) \quad (3.15)$$

onde $t_2 - t_1 = 7$ dias.

3.2.5.3. Armazenamento de água

Utilizando as unidades do solo, determinadas no início do período de coleta a 0, 30 e 60 cm ($\theta_{1,0}$, $\theta_{1,30}$, $\theta_{1,60}$) e no final ($\theta_{2,0}$, $\theta_{2,30}$, $\theta_{2,60}$), foram determinados os armazenamentos de água nestes dois instantes, ou seja, At_1 e At_2 de acordo com as seguintes expressões:

$$At_1 = \left(\frac{\theta_{1,0} + \theta_{1,30}}{2} \right) \cdot 30 + \left(\frac{\theta_{1,30} + \theta_{1,60}}{2} \right) \cdot 30 \quad (3.16)$$

$$At_2 = \left(\frac{\theta_{2,0} + \theta_{2,30}}{2} \right) \cdot 30 + \left(\frac{\theta_{2,30} + \theta_{2,60}}{2} \right) \cdot 30 \quad (3.17)$$

O saldo dos fluxos de entrada e de saída de água no solo é obtido pela variação do armazenamento (ΔA), que é calculada como segue:

$$\Delta A = At_2 - At_1 \quad (3.18)$$

3.2.6. Balanço de energia

Um dos métodos racionais, ou não empíricos, para a estimativa da evapotranspiração é o balanço de energia, que se baseia no princípio da conservação de energia. Portanto esse balanço em superfície vegetada é a

soma algébrica das energias que incidem, que deixam e que permanecem armazenadas em um sistema constituído, e interagindo, por plantas e ar (Villa Nova, 1975).

Através do balanço de energia verifica-se, em diferentes condições ambientais, como são efetuadas as trocas de energia entre uma cultura e o meio externo a ela.

As principais trocas energéticas envolvidas no balanço são os fluxos convectivos de calor latente (LE) e sensível (H), o saldo de radiação (RL) e o fluxo de calor para o solo (G). Os fluxos advectivos de calor latente e sensível foram desprezados por ter sido adotada uma área experimental suficientemente grande, que evitasse os efeitos de borda (itens 2.2.1.2. e 3.1.4.).

Segundo André (1981), citando King (1961), os armazenamentos de calor sensível e latente são desprezíveis em relação ao saldo de radiação, e a energia gasta no processo fotossintético é cerca de 1 a 2% da radiação líquida e, portanto, não a considera.

Admitindo-se as aproximações acima, a equação do balanço de energia pode ser expresso por:

$$RL = H + LE + G \quad (W.m^{-2}) \quad (3.19)$$

A expressão mede a energia disponível ao sistema, fracionando-a em 3 processos físicos: aquecimentos do ar e do solo, através dos termos H e G, respectivamente, e a evaporação da água, com o termo E.

Estimou-se a perda de vapor do sistema para a atmosfera (processo evapotranspiratório) estabelecendo o

coeficiente denominado razão de Bowen (θ), definida como a relação entre os fluxos de calor sensível e latente e que traduz as condições de umidade do experimento, admitindo altos valores para as superfícies secas e pequenos em condições úmidas. Então a razão de Bowen (adimensional), descrita por Villa Nova (1975), é dada por:

$$\theta = \frac{H}{LE} = \frac{1}{\frac{\Delta + \gamma}{\gamma} \cdot \frac{\Delta T_u}{\Delta T} - 1} \quad (3.20)$$

onde Δ é a tangente à curva da pressão de saturação de vapor sobre a água no ponto de temperatura média do ar, calculada a partir dos valores dos termômetros de bulbo úmido entre 2 níveis; γ é a constante psicrométrica ($0.6 \text{ mmHg} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$); ΔT_u e ΔT são as diferenças das temperaturas dos bulbos úmido e seco, respectivamente, entre 2 alturas.

Substituindo (3.17), em função do fluxo H , na expressão (3.16), obtém-se a relação para o fluxo LE , ou seja:

$$LE = \frac{RL - G}{1 + \theta} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (3.21)$$

sendo L o calor latente de evaporação ($590 \text{ cal} \cdot \text{g}^{-1}$).

Para a estimativa da evapotranspiração, abrangendo alguns estádios fenológicos do trigo, calculou-se primeiramente a razão de Bowen (valores horários) a partir dos dados de temperatura do ar dos bulbos úmido e seco de 2 níveis acima da cultura, diferentes para os estádios estudados devido ao crescimento das plantas.

Utilizando-se os dados horários da radiação líquida (RL) e fluxo de calor no solo (G), descritos nos itens 3.2.1. e 3.2.2., obtém-se a evapotranspiração diária (mm.dia^{-1}).

3.2.7. Análise de crescimento

Os parâmetros fisiológicos utilizados para avaliar o desempenho da cultura foram: o peso de matéria seca (PMS) e a taxa de crescimento da cultura (TCC).

As coletas quinzenais (total de 5) da parte aérea das plantas, nas 32 parcelas, aos 42, 56, 71, 85, e 99 dias após a semeadura (23/mai) procederam-se pelas amostragens aleatórias de 3 medidas lineares de 0.5m em cada unidade. Considerando a semi-distância entre as linhas de plantio de 20 cm, a área amostrada (A_a), em cada parcela, é dada por:

$$A_a = 0.2 (3 * 0.5) = 0.3\text{m}^{-2} \quad (3.22)$$

Após o conveniente secamento em estufa por 72 horas, pesaram-se as amostras, obtendo os valores do peso da matéria seca e a taxa de crescimento foi calculada segundo a relação abaixo:

$$TCC = \frac{P_2 - P_1}{D_2 - D_1} \quad (\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}) \quad (3.23)$$

onde P_1 e P_2 são os pesos secos totais da parte aérea por m^2 de solo (g.m^{-2}) nos dias D_1 e D_2 , respectivamente.

Portanto os parâmetros referidos foram

analisados, em cada um dos 5 dias de coleta, entre os tratamentos (lados A e B) e entre os cultivares (IAC-24 e IAC-287).

3.2.7.1. Eficiência no uso da água

Um parâmetro de referência à produtividade total ou à produção específica da cultura entre 2 dias de coletas de plantas com relação à água consumida pela planta é a eficiência no uso da água (eua), que é dada pela razão entre o peso seco total da parte aérea seca por unidade de área de solo e a evapotranspiração real, ou seja:

$$eua = \frac{PMS}{ER} \quad (3.24)$$

Os valores de eua foram calculados para os intervalos nos quais se verificaram as amostragens da parte aérea e o valor de E estimado pelo balanço hídrico no campo.

3.2.8. Dados complementares

Durante o período compreendido do experimento, foram registrados o fluxo de radiação solar global, através de um piranômetro Eppley, de sensibilidade $11.39.10^{-6}V$ por $W.m^{-2}$, e o fluxo de radiação difusa, com o radiômetro Kipp Zonnenn,

utilizando um sombreador adaptado, cuja sensibilidade é de 7.12mV por $\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$. Ambos, de propriedade da Seção de Climatologia Agrícola do IAC, foram aferidos contra um piranômetro Eppley, do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ, imediatamente anterior à instalação no campo.

Os instrumentos foram montados, conforme a Fig. 1, na área de 2.0ha, utilizada para a estimativa do balanço de energia. Os radiômetros, instalados em mastros às alturas de 2.3 m (Kipp Zonenn) e 1.9 m (Eppley), permanecendo nestes níveis durante todo o experimento, estavam cerca de 60 m para o interior do campo vegetado, próximos do radiômetro líquido e das placas de fluxo de calor no solo.

Para os registros dos fluxos de radiação foi utilizado o mesmo equipamento referido anteriormente (item 3.2.1.).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Balanço hídrico no campo

A contabilização dos termos do balanços hídricos realizados em cada um dos 10 períodos de coleta estão apresentados nas tabelas 1 a 4, como valores médios dos 3 pontos de coleta em cada unidade utilizada no estudo.

Em determinados dias foi impossível efetuar as leituras dos tensiômetros, já que estes apresentaram bolhas na coluna de mercúrio. Nestas situações, o gradiente vertical de potencial hidráulico foi considerado igual à unidade (Brunini et alii, 1981).

No período compreendido entre 05/jul a 12/jul a contribuição da irrigação na área irrigada frequentemente (95.8 mm e 106.8 mm para as parcelas IAC-287 e IAC-24, respectivamente) determinou valores de evapotranspiração muito altos: 7.6mm para IAC-287 e 11.8mm para IAC-24.

Condição semelhante ocorreu na semana entre 26/jul e 02/ago quando uma precipitação anormal (136.6mm), distribuída em 5 dias impossibilitou medidas consistentes, ou seja, os valores calculados de evapotranspiração

Tabela 1. Dados dos termos do balanço hídrico semanal de precipitação (P), irrigação (I), variação de armazenamento (A), drenagem profunda, (Qz), evapotranspiração real no período (ER/p) e evapotranspiração real diária (ER), obtidos na cultivar IAC-24 no lado irrigado frequentemente (lado A). Os valores calculados a partir do tanque classe A estão entre parenteses.

PERÍODO	P	I	A	Qz	Qz/A	ER/p	ER
			(mm)				
29/jun-05/jul	0	0	-13.9	.3	.02	13.6	1.9
05/jul-12/jul	0	106.8	21.8	2.3	.11	82.7(17.5)	11.8(2.5)
12/jul-19/jul	0	0	-36.1	2.9	.08	33.2	4.7
19/jul-26/jul	6.2	25.1	13.4	4.1	.31	13.8	2.0
26/jul-02/ago	136.6	0	.9	1.2	1.33	134.5(21.0)	19.2(3.0)
02/ago-09/ago	0	0	-23.1	2.8	.12	20.3	2.9
09/ago-16/ago	0	40.0	19.0	1.9	.10	19.1	2.7
16/ago-23/ago	4.8	0	-19.0	3.2	.17	20.6	2.9
23/ago-30/ago	7.7	0	-4.7	1.9	.40	10.5	1.5
30/ago-06/set	0	0	-7.9	.9	.11	7.0	1.0
TOTAL	155.3	171.9	-49.6	21.5	.28*	176.6	2.4*

* Valores médios

Tabela 2. Dados dos termos do balanço hídrico semanal de precipitação (P), irrigação (I), variação de armazenamento (A), drenagem profunda, (Qz), evapotranspiração real no período (ER/p) e evapotranspiração real diária (ER), obtidos na cultivar IAC-24 no lado menos irrigado (lado B). Os valores calculados a partir do tanque classe A estão entre parenteses.

PERÍODO	P	I	A	Qz	Qz/A	ER/p	ER
			(mm)				
29/jun-05/jul	0	0	-27.7	1.5	.05	26.2	3.7
05/jul-12/jul	0	38.1	20.1	6.9	.34	11.1	1.6
12/jul-19/jul	0	0	-28.7	3.7	.13	25.0	3.6
19/jul-26/jul	6.2	0	8.4	8.0	.95	-10.2(23.2)	(3.3)
26/jul-02/ago	136.6	0	15.7	2.8	.18	118.1(21.0)	16.9(3.0)
02/ago-09/ago	0	0	-21.2	2.9	.14	18.3	2.6
09/ago-16/ago	0	0	-15.5	2.9	.19	12.6	1.8
16/ago-23/ago	4.8	0	-7.4	1.3	.18	10.9	1.6
23/ago-30/ago	7.7	0	6.2	2.0	.32	-5(15.8)	(2.2)
30/ago-06/set	0	0	-6.2	5.9	.95	.3	.0
TOTAL	155.3	171.9	-49.6	21.5	.28*	164.4	2.4*

* Valores médios

Tabela 3. Dados dos termos do balanço hídrico semanal de precipitação (P), irrigação (I), variação de armazenamento (A), drenagem profunda, (Qz), evapotranspiração real no período (ER/p) e evapotranspiração real diária (ER), obtidos na cultivar IAC-287 no lado irrigado frequentemente (lado A). Os valores calculados a partir do tanque classe A estão entre parenteses.

PERÍODO	P	I	A (mm)	Qz	Qz/A	ER/p	ER
29/jun-05/jul	0	0	-32.8	4.7	.14	28.1	4.0
05/jul-12/jul	0	95.8	35.6	7.2	.20	53.0(17.5)	7.6(2.5)
12/jul-19/jul	0	0	-32.9	5.0	.15	27.9	4.0
19/jul-26/jul	6.2	33.8	20.2	1.5	.07	18.3	2.6
26/jul-02/ago	136.6	0	3.2	2.4	.75	131.0(21.0)	18.7(3.0)
02/ago-09/ago	0	0	-25.7	1.9	.07	23.8	3.4
09/ago-16/ago	0	31.0	4.4	.7	.16	25.9	3.7
16/ago-23/ago	4.8	0	-15.9	2.0	.13	18.7	2.7
23/ago-30/ago	7.7	0	-5.2	2.1	.40	10.6	1.5
30/ago-06/set	0	0	-10.4	2.9	.28	7.5	1.1
TOTAL	155.3	160.6	-59.5	30.4	.24*	199.3	2.9*

* Valores médios

Tabela 4. Dados dos termos do balanço hídrico semanal de precipitação (P), irrigação (I), variação de armazenamento (A), drenagem profunda, (Qz), evapotranspiração real no período (ER/p) e evapotranspiração real diária (ER), obtidos na cultivar IAC-287 no lado menos irrigado (lado B). Os valores calculados a partir do tanque classe A estão entre parenteses.

PERÍODO	P	I	A (mm)	Qz	Qz/A	ER/p	ER
29/jun-05/jul	0	0	-33.0	1.0	.03	32.0	4.6
05/jul-12/jul	0	38.1	4.9	2.7	.55	30.5	4.4
12/jul-19/jul	0	0	-41.8	15.9	.38	25.9	3.7
19/jul-26/jul	6.2	0	19.1	6.1	.32	-19.0(23.2)	(3.3)
26/jul-02/ago	136.6	0	9.1	2.2	.24	125.3(21.0)	17.9(3.0)
02/ago-09/ago	0	0	-22.6	1.4	.06	21.2	3.0
09/ago-16/ago	0	0	-13.6	1.3	.10	12.5	1.8
16/ago-23/ago	4.8	0	1.0	1.3	1.3	2.5	.4
23/ago-30/ago	7.7	0	-5.5	2.0	.36	11.2	1.6
30/ago-06/set	0	0	-4.6	5.9	1.28	-1.3(15.8)	(2.2)
TOTAL	155.3	38.1	-87.0	39.8	.38*	195.8	2.8*

* Valores médios

diários, em todas as parcelas, foram superestimados (18.7mm e 17.9mm para a cultivar IAC-287 e 19.2mm e 16.9mm para IAC-24).

Esses erros podem ser atribuídos à proposição de não levar em consideração o termo de run-off: devido ao grande volume de água, tanto pela precipitação como pela irrigação, uma parte não entrou no sistema, saindo por escoamento e, por ser desconsiderado, não foi computado no balanço hídrico de campo. Outra fonte de erro pode ter sido na estimativa da drenagem profunda, pois para o período referido os valores deste termo são muito baixos, considerando o volume de água precipitada. Isto pode ter acontecido devido à utilização da média do termo de drenagem profunda entre os extremos do intervalo de medidas (semanal), induzindo a erro por admitir uma variação linear no período.

Para os dois períodos referidos, os dados de evapotranspiração real foram estimados pela evaporação do tanque classe A, através do coeficiente de conversão de tanque (k_p), que varia com a umidade relativa, velocidade do vento e exposição do tanque em relação à cobertura (grama) (Ometto, 1981). Na tabela 5 estão os valores desses parâmetros e a evaporação do tanque classe A e a evapotranspiração estimada.

Foram constatados valores negativos de evapotranspiração, nas cultivares IAC-287 (lado menos irrigado), nos períodos de 19/jul a 26/jul e de 30/ago a

Tabela 5. Valores médios semanais da umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (U), coeficiente de tanque (kp), evaporação potencial do tanque classe A (E), evapotranspiração potencial diária (ETo) e do período (ETo/p).

PERÍODO	UR (%)	U (m.s ⁻¹)	kp	E (mm.dia ⁻¹)	ETo (mm.dia ⁻¹)	ETo/p (mm)
29/jun-05/jul	90	1.8	.83	1.74	1.4	10.1
05/jul-12/jul	83	3.4	.81	3.06	2.5	17.4
12/jul-19/jul	88	.9	.84	3.00	2.5	17.6
19/jul-26/jul	80	.3	.84	3.50	2.9	20.6
26/jul-02/ago	91	1.9	.83	3.60	3.0	20.9
02/ago-09/ago	71	1.9	.81	3.63	2.9	20.6
09/ago-16/ago	67	2.0	.80	3.65	2.9	20.4
16/ago-23/ago	66	1.3	.81	4.00	3.2	22.7
23/ago-30/ago	75	2.4	.81	3.96	3.2	22.5
30/ago-06/set	75	2.1	.79	4.06	3.2	22.5

06/set, e IAC-24 (lado menos irrigado) entre 19/jul a 26/jul e 23/ago a 30/ago. Tais valores foram desprezados pela evidência de erros, provavelmente, de observações.

As figuras 2 e 3 mostram os comportamentos das perdas de água por evapotranspiração (valores diários), para as 4 parcelas, entre as cultivares e entre os tratamentos (lados A e B).

Uma fonte de erro que pode ser aceito no cálculo do balanço hídrico é a umidade do solo, usada na determinação dos termos armazenamento de água e drenagem profunda, que apresenta grande variabilidade espacial em função das características físicas heterogêneas do solo (Volpe, 1986; Oliveira & Reichardt, 1991). Além disso, a dependência entre a condutividade hidráulica do solo e a umidade, estabelecida através do método de laboratório, superestima o valor da condutividade hidráulica (Brunini et alii, 1981).

4.1.1. Precipitação e irrigação

A entrada de água no sistema ocorreu através da precipitação ou irrigação, quando a condição de umidade do solo, aliada à fase fenológica, assim a requeria.

O apêndice 1 apresenta os dados climáticos normais mensais de temperatura do ar, precipitação, número de dias com chuva da estação climatológica da Seção de Climatologia Agrícola do IAC, instalada próxima à área experimental.

Durante o período compreendido para os cálculos dos balanços hídricos, a contribuição de água pela precipitação foi muito pequena (total de 18.7 mm), excetuando-se, na 5ª semana, a excepcional chuva de 136.6 mm, determinando que, para o lado A, foram realizadas 3 irrigações (2ª, 4ª e 7ª semanas) e o lado B apenas uma (2ª semana). As diferenças entre os valores de irrigação estão relacionadas à ação do vento, que prejudica grandemente a uniformidade da distribuição da água pelo aspersor (Olita, 1981).

4.1.2. Armazenamento de água no solo

A quantidade de água armazenada no solo foi calculada no início e no final de cada período. A diferença entre estes armazenamentos, calculados até a profundidade efetiva de 0,6m, determina o termo variação de armazenamento de água no solo.

A reserva hídrica do solo, representada pela variação de água armazenada, constitui a quantidade de água disponível às plantas (Lhome et alii, 1984), e que, portanto, é a componente que mais influência tem no comportamento fisiológico da cultura (Sakai, 1989).

4.1.3. Drenagem Profunda

Quando a contribuição de água no sistema for superior à capacidade de retenção do solo, ocorre a perda

Figura 2. Variações da evapotranspiração real (ER) diária, estimada pelo balanço hídrico de campo, para as cultivares IAC-24 (2.a) e IAC-287 (2.b), nos lados A (frequentemente irrigado) e B (menos irrigado).

Figura 3. Variações da evapotranspiração real (ER) diária, estimada pelo balanço hídrico de campo, entre as cultivares IAC-24 e IAC-287, nos lados frequentemente irrigado (A) (3.a) e menos irrigado (B) (3.b).

subterrânea de água, denominada drenagem profunda.

Quando se comparam os valores de drenagem profunda e da variação de armazenamento de água no solo, constatados através da razão entre os dois parâmetros (tabelas 1 a 4), nota-se que a drenagem profunda contribuiu menos para a contabilização do balanço hídrico, exceto nos períodos de 26/jun a 02/ago, na cultivar IAC-24/lado A (irrigado frequentemente), quando o termo de drenagem superou em 33% a variação de armazenamento, e de 16/ago a 23/ago, na cultivar IAC-287/lado B (menos irrigado), onde a drenagem também foi maior (30%). A razão entre a drenagem e a variação de armazenamento apresentou as seguintes médias: 28% para a cultivar IAC-24(lado A), 27% para IAC-24(lado B), 24% para IAC-287(lado A) e 38% para IAC-287(lado B).

Quando se relacionou a drenagem profunda com o total de água adicionada ao sistema (precipitação e irrigação) os valores médios variaram de 14% a 40%. Para as duas cultivares localizadas na área irrigada menos frequentemente foram encontrados valores mais altos: 40% para IAC-24 e 32% para IAC-287. Para as parcelas no lado normalmente irrigado (lado A) a razão entre os dois termos foram baixos: 19% para IAC-24 e 14% para IAC-287. Estes resultados apontam que os sistemas radiculares das cultivares, no lado A, são mais densos, pois a percolação foi menor.

4.1.4. Evapotranspiração Real

O consumo de água pela cultura, ou seja, a evapotranspiração real acumulada, estimada pelo método do balanço hídrico de campo, foi de aproximadamente 188.2mm, média para as cultivares, excluindo os primeiros 32 dias da cultura. As evapotranspirações totais reais médias para as cultivares foram, com a mesma ressalva anterior: 176.6 mm (IAC-24/ lado A), 164.4 mm (IAC-24/ lado B), 199.3 mm (IAC-287/ lado A) e 195.8mm (IAC-287/ lado B).

Os resultados demonstram que, para uma maior disponibilidade de água no solo, condição do lado A, os valores das perdas de água pela cultura foram maiores, ocorrendo diferenças significativas (cerca de 13% maior para a cultivar IAC-287) entre as cultivares. Para a área irrigada menos frequentemente (lado B) os valores de evapotranspiração foram menores. No entanto, para a cultivar IAC-287 houve uma maior perda de água (19%) do que para IAC-24.

O maior valor médio que a evapotranspiração atingiu foi de 4.7 mm.dia^{-1} na parcela IAC-24 (lado A), 44 dias após a germinação, ou seja, no início do florescimento. Os valores que, sensatamente, estão altos, como nos períodos 05/jun a 12/jun, para as cultivares no lado A e 26/jul a 02/ago, em todas as parcelas, não foram considerados, conforme ponderado no item 4.1.

O comportamento médio da perda de água durante o ciclo vegetativo de uma cultura qualquer determina valores pequenos no início do desenvolvimento das plantas, período no qual a evaporação da água no solo é maior que a transpiração das plantas, aumentando com a área foliar e, no final do ciclo vegetativo a evapotranspiração diminui (Sharma et alii, 1990). Entretanto no primeiro período de análise para o balanço hídrico (31 dias após a germinação) ocorreram valores de evapotranspiração altos para as cultivares IAC-24 (lado B), IAC-287 (lados A e B), sendo 3.7mm, 4.0mm e 4.6mm, respectivamente. Somente IAC-24 (lado A) apresentou um valor menor (1.9mm). No decorrer das fases até a maturação, a evapotranspiração média exibiu a variação esperada.

Durante o ciclo a média diária estimada para as cultivares foi de 2.4 mm.dia^{-1} (IAC-24/ lado A), 2.6 mm.dia^{-1} (IAC-24/ lado B), 2.9 mm.dia^{-1} (IAC-287/ lado A) e 2.8 mm.dia^{-1} (IAC-287/ lado B). Os valores da cultivar IAC-287 não apresentam diferenças entre as áreas irrigada e menos irrigada e são próximos aos encontrados por Islam (1991) para cultura de trigo não irrigado, estimados pelo balanço hídrico, no período de 1982-83, quando a média estimada foi de 3.3 mm.dia^{-1} .

Para o período de estudo a evapotranspiração média de referência (calculada a partir da evaporação potencial do tanque classe A), designada por ETo , foi de 2.8 mm.dia^{-1} , conforme a tabela 5.

As variações da razão entre as evapotranspirações real e de referência (ER/ET_0), observada em todos os períodos determinantes do balanço hídrico e para as 4 parcelas, estão mostradas na tabela 6. Nota-se que, para todas as cultivares, durante o estágio fenológico de perfilhamento (31 dias após a germinação) e no início do emborrachamento (37 dias após a germinação), correspondendo às primeiras três semanas de análise, a razão ER/ET_0 foi superior à unidade, exceto na cultivar IAC-24 (lado B). Em seguida, a razão diminui: 0.7 para IAC-24 (lado A), 1.1 para IAC-24 (lado B), 0.9 para IAC-287 (lado A) e 1.1 para IAC-287 (lado B). Durante a fase final do emborrachamento (4ª, 5ª e 6ª semanas de análise do balanço hídrico), em todas as parcelas a evapotranspiração real foi aproximadamente igual à de referência, determinando valores da razão próximos da unidade. Os valores altos (2.6, 2.9, 3.3) constatados no período vegetativo (29/jun - 05/jul) mostram-se excessivos, denotando, talvez, uma superestimativa da evapotranspiração real nesta fase.

Para as fases finais do ciclo da cultura, em geral, os valores da razão diminuíram, correspondendo a valores menores do que a unidade. A variação da razão encontrada, exceto no início, mantém o mesmo padrão definido por Arora et alii (1988), trabalhando com trigo no norte da Índia, quando estimaram a razão entre 1.3 e 1.7, 70 dias após a semeadura e menor do que 1 até o final do ciclo (Fig. 4).

Tabela 6. Valores da razão entre a evapotranspiração real (ER), calculada pelo balanço hídrico, e a evapotranspiração potencial (ET_o), calculada pela evaporação potencial do tanque classe A e coeficientes de cultura (kc), encontrados em Doorenbos & Kassam (1979), para os períodos semanais do balanço de água nas cultivares IAC-24 e IAC-287, nos lados A (irrigado frequentemente) e B (menos irrigado).

ER/ET _o					
PERÍODO	IAC-24 (lado A)	IAC-24 (lado B)	IAC-287 (lado A)	IAC-287 (lado B)	kc
29/jun-05/jul	1.4	2.6	2.9	3.3	.75
05/jul-12/jul	1.0	.6	1.0	1.8	.75
12/jul-19/jul	1.9	1.4	1.6	1.5	1.13
19/jul-26/jul	.7	1.1	.9	1.1	1.13
26/jul-02/ago	1.0	1.0	1.0	1.0	1.13
02/ago-09/ago	1.0	.9	1.2	1.0	1.13
09/ago-16/ago	.9	.6	1.3	.6	1.13
16/ago-23/ago	.9	.5	.8	.1	.70
23/ago-30/ago	.5	.7	.5	.5	.70
30/ago-06/set	.3	.0	.3	.7	.70
MÉDIA	1.0	.9	1.2	1.2	

A razão média durante o ciclo foi de 1.0, 0.9, 1.2 e 1.2, respectivamente para as cultivares IAC-24 (lados A e B) e IAC-287 (lados A e B). Os dados indicam que o menor consumo de água observado ocorreu para a cultivar IAC-24 em ambos os lados, particularmente devido à menor evapotranspiração real média encontrada durante o ciclo da cultura. Uma possível explicação para estes valores poderiam ser áreas foliares diferenciadas entre as duas cultivares, sendo que para IAC-287 deveria ser maior.

Os valores calculados para a razão (ER/ET_o), nas primeiras 3 semanas de análise, correspondendo ao perfilhamento e início do emborrachamento, são maiores do que os coeficientes de cultura para trigo, apresentados por Doorenbos & Kassan (1979). Entretanto, em todos os outros períodos os valores da razão foram aproximadamente iguais aos da literatura. Os valores elevados podem ser creditados à superestimativa da evapotranspiração real, conforme definido no item 4.1.

Figura 4. Comportamentos da razão entre a evapotranspiração real (ER), estimada pelo balanço hídrico de campo, e a evapotranspiração potencial (EP), estimada pelo tanque classe A, confrontando os lados A (irrigado frequentemente) e B (menos irrigado) para as cultivares IAC-24 (4.a) e IAC-287 (4.b).

4.2 Balanço de energia

Durante todo o ciclo da cultura foram efetuados 10 dias de coleta de dados micrometeorológicos, com o objetivo de estimar, pelo método do balanço de energia, a evapotranspiração do trigo.

A primeira série de dados foi realizada no dia 29/junho (31 dias após a germinação). Problemas no sistema de aquisição de dados determinaram que o início das observações acontecesse somente no referido dia. Em virtude desse fator não foi possível a estimativa da evapotranspiração desde o estabelecimento da cultura até o perfilhamento.

Dentre todas as observações foram selecionados 5 dias considerados típicos para o cálculo da evapotranspiração através do método do balanço de energia.

A fundamentação da escolha baseou-se em que durante os dias de coleta tivessem um período de observações razoavelmente longo. Além disso foram rejeitados dias nos quais erros sistemáticos de medição inviabilizaram o cálculo da perda de água pela cultura, e dias em que ocorreram irrigação. Os 5 dias escolhidos foram 03/julho (36 dias após a germinação), 17/julho (50 dias), 02/agosto (66 dias), 08/agosto (72 dias) e 29/agosto (92 dias).

Para cada período de análise do balanço de energia foram determinados os gradientes entre as temperaturas úmida e do ar; valores horários, a partir dos perfis de temperatura do ar, dentro e acima da cultura, calculando-se, em seguida, os valores da razão de Bowen, conforme a equação (3.20). Juntamente com os valores médios horários da radiação líquida e do fluxo de calor no solo, diretamente medidos, estimaram-se os valores do calor latente através da eq.(3.19). Os termos envolvidos nos balanços de energia dos 5 dias selecionados estão apresentados no apêndice 2.

4.2.1. Análise dos termos do balanço

No primeiro dia de observações (03/julho) (Figura 5.a), realizadas 36 dias após a germinação, estando a cultura na fase final do perfilhamento, nota-se que a maior parcela do saldo de radiação é usada no fluxo de calor latente, cerca de 75%. O fluxo de calor no interior do solo é de aproximadamente 8% e o fluxo de calor sensível também mostrou-se pequeno (16%). Pode-se dizer que, a partir destes valores baixos, a superfície apresenta-se com razoável índice de cobertura vegetal e que a advecção não contribuiu para o processo energético. Neste dia a evapotranspiração real estimada por este método foi de 3,8mm.

Figura 5. Comportamento horário das componentes do balanço de energia em cultura de trigo, para os dias 03/jul/89 (5.a) e 17/jul/89 (5.b), em Campinas.

No segundo dia de observações (17/julho) (Fig. 5.b), a cultura está na fase de emborrachamento, nota-se que o fluxo de vapor de água da superfície aumentou a relação com a radiação líquida, representando cerca de 94% de RL. Em alguns horários (início e final do período de medidas) o fluxo de calor latente chega a ser maior do que o saldo de radiação. A contribuição de energia à superfície evaporante é feita pela advecção de calor sensível, fazendo com que o sistema absorva mais energia e a use na evaporação, assim como notou André (1981), analisando os termos energéticos em soja. O fluxo de calor para o interior do solo é cerca de 11% da radiação líquida; um valor alto, pois a cobertura vegetal deveria interceptar uma maior parte da energia incidente. A fração do calor sensível alcança um valor maior (42% de RL), chegando até a igualar e exceder o fluxo de calor latente no início da tarde. A evapotranspiração real encontrada a partir destes dados foi de 5.3 mm.

No terceiro dia (02/agosto) (Figura 6.a), a cultura estava no estágio de florescimento e, portanto, devido à total cobertura vegetal, o valor do fluxo de calor no solo foi menor do que nos 19 e 29 dias de medidas, sendo que o fluxo foi aproximadamente 5% da radiação líquida. A fração do calor latente diminuiu, chegando a 68% da radiação líquida. O fluxo de calor sensível foi de 34% do saldo de radiação. Em praticamente todos os horários o fluxo de calor sensível foi sempre menor do que o fluxo de

Figura 6. Comportamento horário das componentes do balanço de energia em cultura de trigo, para os dias 02/ago/89 (6.a) e 08/ago/89 (6.b), em Campinas.

vapor. A evapotranspiração real foi de 5.2 mm.

No dia 08/agosto (49 dia de medidas) (Fig. 6.b) a cultura estava com 72 dias após a germinação (florescimento), notando-se que a maior parcela do saldo de radiação continua sendo utilizada no fluxo de calor latente (74%). O fluxo de calor no solo teve um valor relativamente alto (6%). O processo advectivo influenciou o processo energético somente à tarde, pois se nota que, em 4 horários, os valores do fluxo LE são maiores do que a radiação RL. A relação do fluxo de calor sensível com a radiação líquida permanece no mesmo nível anteriormente definido (35%). Os dois horários de análise do meio do dia determinam que o fluxo H torna-se maior que LE. A evapotranspiração real estimada neste dia foi de 5.4 mm.

No 59 dia de medidas (29/agosto) (Figura 7), que representa a fase final do ciclo da cultura (maturação), definindo um fluxo de calor no solo de cerca de 6% da radiação líquida. Apesar de que, nesta fase a transpiração é limitada, a fração do balanço de energia maior (90%) é do fluxo de calor latente, ficando apenas 11% na partição de energia com o fluxo de calor sensível. Verifica-se, também nesse dia, que a advecção afeta o processo pela manhã e no meio da tarde, onde se nota que a razão LE/RL é maior do que a unidade. A evapotranspiração real neste dia mostrou um valor extremamente grande (superestimado) de 9.1mm, provavelmente devido à contribuição da energia por advecção, que não foi estimada.

Figura 7. Comportamento horário das componentes do balanço de energia em cultura de trigo, para o dia 29/ago/89, em Campinas.

Sendo as medidas do balanço de energia realizadas em área não irrigada com IAC-24, então a comparação entre este método de estimativa da evapotranspiração e o balanço hídrico deve ser feita com a mesma cultivar no lado menos irrigado. Comparando, portanto, os valores estimados observa-se que somente para o primeiro dia de análise (03/jul) a evapotranspiração pelos métodos é igual. Em todos os outros dias constatam-se valores, estimados pelo balanço de energia, sempre maiores do que pelo outro método. Talvez estes valores altos sejam função de erros na determinação da razão de Bowen, que definiram, em vários horários, valores negativos e, portanto, superestimando o valor do fluxo de calor latente.

4.2.2. Razão de Bowen

As figuras de 8 a 10 apresentam as variações diárias da razão de Bowen (H/LE) para os 5 dias, nos quais foram analisados os termos do balanço de energia.

O comportamento da razão apresenta grandes oscilações ao longo do dia, mas de uma forma geral, os valores são positivos até por volta das 14:30h, exceto nos dias 02/agosto, quando ocorre um valor negativo às 17:30h, e em 03/julho, cujo último horário de observação é exatamente às 14:30h. Valores negativos na parte da manhã também estão presentes nos dias 17/julho, 08 e 29/agosto).

A mudança de sinal está associada à alteração de sentido do fluxo de calor sensível no começo

(8.a)

(8.b)

Figura 8. Variações horárias da razão de Bowen, para os dias 03/jul/89 (8.a) e 17/jul/89 (8.b), em cultura de trigo.

(9.a)

(9.b)

Figura 9. Variação horária da razão de Bowen, para os dias 02/ago/89 (9.a) e 08/ago/89 (9.b), em cultura de trigo.

Figura 10. Variação horária da razão de Bowen para o dia 29/ago/89, em cultura de trigo.

do dia e à tarde.

Para os dias 17/julho, 02 e 08/agosto os valores da razão mostram-se relativamente altos, cuja causa são os elevados valores de calor sensível (H), que para estes dias, respectivamente, chegaram a 42, 34 e 35% do saldo de radiação.

Nos dias 03/julho e 29/agosto os valores da razão (H/LE) são pequenos nos inícios e nos finais dos dias, entretanto são altos entre 12h e 14h. Estes valores altos são consequência do aumento do fluxo de calor sensível. De maneira geral, nestes dois dias considera-se que as razões de Bowen são pequenas, pois as contribuições do fluxo de calor sensível são baixas: 16% (03/agosto) e 11% (29/agosto).

Os valores médios da razão de Bowen foram 0.290 (03/julho), 0.253 (17/julho), 0.531 (02/agosto), 0.400 (08/agosto) e 0.07 (29/agosto). Estes dados, exceto para o último dia, estão em concordância com os obtidos por André (1981), trabalhando em cultura de soja, onde mostra que a razão é pequena nas fases de crescimento e maiores nos demais períodos de desenvolvimento da cultura.

4.3. Crescimento da cultura

Os parâmetros fisiológicos utilizados para a análise do crescimento da cultura foram o peso de matéria seca e a taxa de crescimento da cultura.

4.3.1. Matéria seca

As amostragens da parte aérea das plantas foram executadas nas 32 parcelas das cultivares IAC-24 e IAC-287 nos dois lados (A e B), tendo 8 parcelas de cada cultivar para cada lado). O peso total médio de matéria seca (parte aérea) para cada cultivar nos dois lados estão mostrados nas tabelas 7 e 8.

Para a análise estatística das referidas amostras, foi utilizada a distribuição amostral de Student (teste "t"), considerando o intervalo de confiança de 95% (Spiegel, 1974).

Os dados mostram que para a cultivar IAC-24, durante todo o ciclo da cultura, não houve diferença significativa com relação aos lados A e B, exceto na última análise de crescimento (99 dias), quando a cultura estava na maturação.

Para a cultivar IAC-287, com respeito à diferença de lados, a matéria seca produzida diferenciou-se de maneira significativa somente na primeira amostragem (42 dias após plantio), correspondendo ao emborrachamento, e na última (99 dias após plantio), na qual a cultura estava na fase de maturação.

Comparando-se o desempenho das duas cultivares no lado B, no qual houve uma frequência de irrigação menor, que praticamente em todos os períodos

Tabela 7. Produção total de matéria seca (g.m^{-2}) das cultivares IAC-24 e IAC-287, nos lados A (irrigado frequentemente) e B (menos irrigado), analisando a diferença da produção (DIF.MS) de cada cultivar, entre os lados, através do teste "t" de Student, ao nível de 5% de significância.

CULTIVAR	DIAS APÓS PLANTIO				
	42	56	71	85	99
IAC-24 (lado A)	126.7	225.0	314.2	519.6	507.5
IAC-24 (lado B)	132.5	235.9	331.6	473.4	419.9
DIF. MS	-5.8	-10.9	-17.4	46.2	87.6
t	-.6	-.4	-.8	.9	2.8
SIGNIFIC.	NS	NS	NS	NS	S

CULTIVAR	DIAS APÓS PLANTIO				
	42	56	71	85	99
IAC-287 (lado A)	106.7	194.1	272.3	386.1	462.2
IAC-287 (lado B)	84.0	167.3	247.4	355.1	353.5
DIF. MS	22.7	26.8	24.9	31.0	108.7
t	2.3	1.6	.9	.8	3.38
SIGNIFIC.	S	NS	NS	NS	S

NS - Diferença de produção NÃO SIGNIFICATIVA

S - Diferença de produção SIGNIFICATIVA

Tabela 8. Produção total de matéria seca (g.m^{-2}) das cultivares IAC-24 e IAC-287, nos lados A (irrigado frequentemente) e B (menos irrigado), analisando a diferença da produção (DIF.MS) de cada cultivar, em cada lado, através do teste "t" de Student, ao nível de 5% de significância.

CULTIVAR	DIAS APÓS PLANTIO				
	42	56	71	85	99
IAC-24 (lado A)	126.7	225.0	314.2	519.6	507.5
IAC-287 (lado A)	106.7	194.0	272.3	386.1	462.2
DIF. MS	20.0	31.0	41.9	133.5	45.3
t	1.8	1.3	2.4	3.9	1.1
SIGNIFIC.	NS	NS	S	S	NS

CULTIVAR	DIAS APÓS PLANTIO				
	42	56	71	85	99
IAC-24 (lado B)	132.5	235.6	331.6	473.4	419.9
IAC-287 (lado B)	84.0	167.3	247.4	355.1	353.5
DIF. MS	48.5	68.3	84.2	118.3	66.4
t	5.7	4.0	2.8	2.1	3.6
SIGNIFIC.	S	S	S	NS	S

NS - Diferença de produção NÃO SIGNIFICATIVA

S - Diferença de produção SIGNIFICATIVA

analisados a produção de matéria seca para a cultivar IAC-24 foi significativamente maior. Pode-se inferir, portanto, que a cultivar IAC-24 mostra uma adaptação ao estresse hídrico efetivamente maior do que a IAC-267. Entretanto tal dedução deveria ser corroborada com a informação da produção total de grãos, mas por problemas técnicos durante a colheita não foi possível proceder a separação da produção por parcelas. Quando a comparação das duas é em relação ao lado A (frequência de irrigação maior) a diferenciação do peso total somente ocorre 71 e 85 dias após o plantio (florescimento e espigamento, respectivamente), períodos nos quais novamente a cultivar IAC-24 mostra um desempenho melhor.

A Figura 11 mostra a evolução ao longo do ciclo entre 2 cultivares estudadas e em relação aos lados A e B.

Verifica-se para as cultivares um acréscimo acentuado da produção de matéria seca a partir da emissão da espiga, correspondendo aos 39 e 49 períodos de coleta (71 e 85 dias, respectivamente), conforme Boatwright & Hass (1961) relatam.

Figura 11. Produção total de matéria seca (MS), entre os lados A (irrigado frequentemente) e B (menos irrigado), para as cultivares IAC-24 (11.a) e IAC-287 (11.b).

Tabela 9. Taxa de crescimento da cultura ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) calculada para as cultivares IAC-24 e IAC-287, nos lados A (irrigada frequentemente) e B (menos irrigado), analisando a diferença das taxas (DIF.TCC) de cada cultivar, entre os lados, através do teste "t" de Student, ao nível de 5% de significância.

CULTIVAR	DIAS APÓS PLANTIO				
	42	56	71	85	99
IAC-24(lado A)	3.02	6.49	5.93	13.69	6.9
IAC-24(lado B)	3.15	6.83	8.01	10.48	-3.57
DIF. TCC	-.13	-0.34	-2.08	3.21	10.47
t	-.6	-.2	-1.4	1.1	2.6
SIGNIFIC.	NS	NS	NS	NS	S

CULTIVAR	DIAS APÓS PLANTIO				
	42	56	71	85	99
IAC-287(lado A)	2.54	5.77	4.89	7.58	5.91
IAC-287(lado B)	2.00	5.50	6.01	7.18	-.11
DIF. TCC	0.54	.27	-1.12	.4	6.02
t	2.3	0.3	-.8	.2	2.1
SIGNIFIC.	S	NS	NS	NS	NS

NS - Diferença de produção NÃO SIGNIFICATIVA

S - Diferença de produção SIGNIFICATIVA

Tabela 10. Taxa de crescimento da cultura ($\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) calculada para as cultivares IAC-24 e IAC-287, nos lados A (irrigada frequentemente) e B (menos irrigado), analisando a diferença das taxas (DIF.TCC) entre as cultivares, em cada lado, através do teste "t" de Student, ao nível de 5% de significância.

CULTIVAR	DIAS APÓS PLANTIO				
	42	56	71	85	99
IAC-24(lado A)	3.02	6.49	5.93	13.69	6.9
IAC-287(lado A)	2.54	5.77	4.89	7.58	5.91
DIF. TCC	.48	.72	1.04	6.11	.99
t	1.8	.5	.7	2.6	.4
SIGNIFIC.	NS	NS	NS	S	NS

CULTIVAR	DIAS APÓS PLANTIO				
	42	56	71	85	99
IAC-24(lado B)	3.15	6.83	8.01	10.48	-3.57
IAC-287(lado B)	2.00	5.50	6.01	7.18	-.11
DIF. TCC	1.15	1.33	2.00	3.30	-3.46
t	5.7	1.4	1.4	1.2	-.8
SIGNIFIC.	S	NS	NS	NS	NS

NS - Diferença de produção NÃO SIGNIFICATIVA

S - Diferença de produção SIGNIFICATIVA

4.3.2. Taxa de crescimento da cultura

A variação diária da produção biológica por unidade de área, designada de taxa de crescimento da cultura (TCC) foi calculada para os mesmos períodos analisados para o peso de matéria seca.

Os dados das tabelas 9 e 10, nas quais estão as T.C.C. para as cultivares e análise de significância, ao nível de 5%, através do teste de Student, mostram que, para as cultivares estudadas, a T.C.C. foi pequena no início, em razão do baixo aproveitamento da radiação solar, aumentando até um valor máximo no florescimento, diminuindo rapidamente na maturação, comportamento semelhante constatado por Volpe (1986) em cultura de milho. Quando comparadas as taxas de crescimento da cultivar IAC-24, para os lados A e B, conclui-se que não há variação significativa, exceto na fase de maturação, na qual para o lado A a taxa é maior, durante o ciclo da cultura. Para a cultivar IAC-287 a única diferença significativa, em relação aos dois lados, ocorre no primeiro dia de análise (42 dias após o plantio), correspondendo à fase de emborrachamento, na qual a taxa é maior no lado A.

Comparando as cultivares do lado A, verifica-se que não há variação apreciável da taxa de crescimento ao longo do ciclo. Somente aos 85 dias (fase de final do florescimento) a produção da cultivar IAC-24

chegou a ser maior ($13.69\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ contra $7.58\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), não mantendo até o final do ciclo. Para o lado B a única diferença significativa ocorre no início da análise (fase de emborrachamento) na qual a taxa de crescimento da IAC-24 foi maior. Em todas as outras fases a cultivar IAC-24 obteve sempre uma taxa mais alta, entretanto sem ser significativa. No último dia das análises de crescimento (99 dias após o plantio) as taxas para as 2 cultivares foram negativas, definindo a senescência das plantas.

O maior valor da TCC ocorreu para a cultivar IAC-24 (lado A), alcançando o valor de $13.69\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Os valores apresentados variaram de 2 a $14\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, aproximadamente. Uma grande amplitude, verificada também por Doyle & Fischer (1979), trabalhando com cultura de trigo em intervalos quinzenais, onde a taxa de crescimento variou de 3 a $20\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

A Figura 12 mostra a variação da taxa de crescimento da cultura para as cultivares e para os dois lados.

4.3.3. Eficiência no uso da água

Na tabela 11 estão apresentados os valores médios da eficiência no uso da água (e.u.a.) observados em 4 dias de coleta, ao longo do ciclo, para as cultivares IAC-24 e IAC-287 nos lados A e B.

Figura 12. Comportamentos da taxa de crescimento da cultura (TCC) entre os lados A (irrigado frequentemente) e B (menos irrigado) para as cultivares IAC-24 (12.a) e IAC-287 (12.b).

Tabela 11. Eficiência do uso da água (eua) ($\text{g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$) para as cultivares IAC-24 e IAC-287, nos lados A (irrigado frequentemente) e B (menos irrigado), calculados a partir da produção total de matéria seca (MS) e evapotranspiração real (ER), calculada pelo balanço hídrico de campo.

DIAS APÓS PLANTIO													
	42	56			71			85			99		
CULTIVAR	MS	MS	ER	eua	MS	ER	eua	MS	ER	eua	MS	ER	eua
IAC-24(lado A)	126.7	98.3	34.5	2.85	89.2	37.5	2.38	205.4	43.5	4.72	-12.1	30.0	-.40
IAC-24(lado B)	132.5	103.4	37.5	2.76	95.7	45.0	2.13	141.8	31.5	4.50	-53.5	12.0	-4.46
MÉDIA				2.81			2.26			4.61			-2.43

$$\text{MS} = \text{g.m}^{-2} \quad \text{ER} = \text{mm} \quad \text{eua} = \text{g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$$

DIAS APÓS PLANTIO													
CULTIVAR	42	56			71			85			99		
	MS	MS	ER	eua	MS	ER	eua	MS	ER	eua	MS	ER	eua
IAC-287(lado A)	106.7	87.4	39.0	2.24	78.2	45.0	1.74	113.8	46.5	2.45	76.1	28.5	2.67
IAC-287(lado B)	84.0	83.3	58.5	1.42	80.1	48.0	1.67	107.7	25.5	4.22	-1.6	19.5	-.08
MÉDIA				1.83			1.71			3.34			1.30

Não se observou diferença considerável da e.u.a. da cultivar IAC-24, quanto aos lados, durante os 3 primeiros períodos de análise, diferenciando-se na última análise, que corresponde à fase de maturação, quando para a cultivar IAC-24 (lado B) ocorreu uma maior diminuição do peso de matéria seca e a evapotranspiração real da cultivar IAC-24 (lado A), no período considerado, foi 2.5 vezes maior do que para o lado B. Os dados corroboram com a afirmação de Karlen & Whitney (1980) de que o acúmulo de matéria seca, na planta de trigo, ocorre até antes da maturação, havendo decréscimo posterior em função da dessecação.

Comparando os 4 valores médios de e.u.a., observa-se que para a cultivar IAC-24 a eficiência de uso da água foi sistematicamente maior do que as médias de e.u.a., nos dois lados, para IAC-287 até a fase de maturação, pois nestas fases a cultivar IAC-24 mostrou um maior desenvolvimento, ou seja, uma variação maior do peso total de matéria seca. Entretanto, na maturação a e.u.a., para a cultivar IAC-287 foi maior, período no qual a maior perda de água correspondeu a um aumento do peso de matéria seca, especificamente na área irrigada mais frequentemente (lado A).

Os valores médios da e.u.a., calculados para os quatro dias de coleta foram: 2.39, 1.23, 2.28 e $1.81 \text{ g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ para as parcelas de IAC-24 (lados A e B) e IAC-287 (lados A e B), respectivamente. De maneira geral,

tais valores são diferentes em relação à média de 1.93 $\text{g.m}^{-2}.\text{mm}^{-1}$ em todos os ciclos do trigo encontrada por Beech & Leach (1989).

5. CONCLUSÕES

Em face da discussão e interpretação dos resultados apresentados no Cap. IV, pode-se concluir que:

A. Estudo do balanço hídrico no campo

A.1) O termo de drenagem profunda representou entre 28 e 38% da variação de armazenamento de água no solo, sendo as maiores médias na área irrigada frequentemente. Quando se relacionou a drenagem com a adição de água ao sistema (precipitação e irrigação) houve uma variação média entre 14 e 40%, com valores muito altos na área mais irrigada, especificamente para IAC-24.

A.2) A evapotranspiração foi maior para a cultivar IAC-287, submetida à maior disponibilidade hídrica. Em condições de estresse hídrico a perda de água é maior para a cultivar IAC-24, para IAC-287 houve uma pequena diminuição.

A.3) As variações da razão entre as evapotranspirações real e de referência foram altas no início da fase do emborrachamento, diminuindo até o final do ciclo (maturação).

A.4) Tendo em vista os erros encontrados, em alguns períodos, é necessário não desprezar o termo de run-off da contabilização do balanço hídrico.

B. Estudo do balanço de energia

B.1) Os valores de evapotranspiração estimados por este método, quando comparados com os obtidos pelo balanço hídrico, se apresentaram sempre maiores. Esta superestimativa deve-se, provavelmente, à contribuição do termo advectivo, que não foi determinado, e a erros na determinação da razão de Bowen, em alguns horários.

B.2) A maior parcela do saldo de radiação, nos 5 dias selecionados para a análise do balanço, foi usada no fluxo de calor latente.

B.3) O fluxo de calor no solo, em todos os dias de análise, representou uma parcela pequena da radiação líquida.

B.4) O fluxo de calor sensível exerce um papel importante no balanço de energia, sendo que a fração média do saldo de radiação foi de 37%, excetuando o primeiro e o último dias de análises, quando a fração de RL foi baixa (16% e 11%, respectivamente).

B.5) O comportamento da razão de Bowen apresentou grandes oscilações ao longo do dia, ocorrendo valores positivos até por volta das 14:30h e negativos às 17:30h.

C. Produção total de matéria seca

C.1) Para a cultivar IAC-24 a produção, durante todo o ciclo da cultura, não mostrou

diferença significativa em relação aos lados diferentemente irrigados, à exceção na última análise de crescimento (maturação).

C.2) Para IAC-287 a matéria seca produzida diferenciou-se significativamente na primeira amostragem (emborrachamento) e na última (maturação).

C.3) Entre as cultivares, submetidas à capacidade de campo, ocorre diferenciação no florescimento e no espigamento, quando IAC-24 mostra um desempenho melhor. Em estresse hídrico, a produção de matéria seca foi maior para IAC-24.

C.4) Verificou-se um acréscimo acentuado da produção de matéria seca a partir da emissão da espiga.

D. Taxa de crescimento da cultura

D.1) A taxa de crescimento foi pequena no início do desenvolvimento, aumentando até o máximo no florescimento, diminuindo rapidamente na maturação.

D.2) A taxa de crescimento entre as cultivares, nos dois tratamentos, não variou significativamente.

E. Eficiência no uso da água

E.1) Constatou-se que no lado em condições de boa disponibilidade de água a eficiência, para

as duas cultivares, foi muito maior do que quando submetidas a estresse hídrico, exceto aos 85 dias quando a eficiência, para IAC-287, foi maior no lado B.

E.2) Sistemáticamente a eua foi maior para IAC-24 até no início da maturação, demonstrando um maior potencial de desenvolvimento para esta cultivar.

E.3) Na complementação das análises do desempenho das cultivares, importante seria dispor do índice de área foliar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.E.B. (ANUARIO ESTATÍSTICO DO BRASIL). Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, v.51, 1991. 1024p.
- AGGARWAL, P.K. & SINHA, S.K. Water stress and water use efficiency in field grown wheat: a comparison of its efficiency with that of C_4 plants. *Agricultural Meteorology*, 29: 159-167, 1983.
- ANDRÉ R.G.B. Um estudo dos transportes verticais de momentum, calor sensível e vapor de água sobre superfície vegetada nos trópicos. São José dos Campos, 1981. 125p. (Doutorado - Instituto de Pesquisas Espaciais).
- ANGELLOCCI, L.R.; MANFREDINI, J.G.; FERREIRA, A.W.P.; CAMARGO, M.B.P. Balanço hídrico em culturas de trigo em plantio convencional e em plantio direto. In: III Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Campinas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1983. p. 163-181.
- ANGUS, J.F.; NIX, H.A.; RUSSEL, J.S.; KRUIZINGA, J.E. Water use, growth and yield of wheat in a subtropical environment. *Australian Journal of Agricultural Resource*, 31: 873-886, 1980.
- ANGUS, D.E. & WATTS, P.J. Evapotranspiration - How good is the Bowen ratio method? *Agricultural Water Management*, 8: 133-150, 1984.

- ARDRA, U.K.: PRIHAR, S.S.: GAYRI, P.R. Interrelations of evapotranspiration from wheat (*Triticum aestivum*) and free water surface and open-pan evaporation in North India. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 58(1): 31-33, 1988.
- ARRUDA, F.B. Avaliação do desempenho das culturas. In: III Curso prático internacional de Agrometeorologia para otimização da irrigação. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1989. 15p.
- BADARUDDIN, M. & MEYER, D.W. Water use by legumes and its effect on soil water status. *Crop Science*, 29(5): 1212-1216, 1989.
- BAYMA, C. Trigo. Estudos Técnicos, vol. I(14). Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola (Ministério da Agricultura), 1960. 361p.
- BEECH, D.F. & LEACH, G.J. Comparative growth, water use and yield of chickpea, safflower and wheat in south eastern Queensland. *Australian Journal of Experimental Agricultural*, 29(5): 655-662, 1989.
- BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas. (Noções básicas). Jaboticabal Estadual Paulista/Deptº de Biologia Aplicada à Agropecuária, 1986. 42p.
- BERGAMASCHI, H. Perda de água e desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob diferentes condições da disponibilidade hídrica no solo e da atmosfera. Piracicaba, 1984. 204p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

- BOATWRIGHT, G.O. & HASS, H.J. Development and composition of spring wheat as influenced by nitrogen and phosphorus fertilization. *Agronomy Journal*, 53: 33-36, 1961.
- BOLGER, T.P. & MATCHES, A.G. Water use efficiency and yield of sainfoin and alfafa. *Crop Science*, 30: 143-148, 1990.
- BONDARENKO, V.I. & NESTERETS, V.G. Winter hardiness, water consumption, and productivity of winter-winter/wheat plants of different ages. *Soviet Agricultural Science*, 7:5-8, 1978.
- BRAZ, A.J.B. Interação genótipo x ambiente em trigo (*Triticum aestivum* L.) no Centro-oeste brasileiro. Piracicaba, 1983. 57p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- BRUN, L. J.; ENZ, J.W.; LARSEN, J.K. Evaluation of energy balance and water use by spring wheat during a normal and a dry season. *Agricultural Foerest Meteorology*, 35: 103-111, 1985.
- BRUNINI, O. Relações solo-água-planta em cultura de arroz em condições de sequeiro. Piracicaba, 1975. 128p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- BRUNINI, O. Estimativa dos componentes do balanço hídrico para uma cultura de arroz (*Oryza sativa*, L.) através da técnica de moderação de neutrons. *Relatório de Atividades*. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1976. 14p.
- BRUNINI, O.; GROHMANN, F.; SANTOS, J.M. Balanço hídrico em condições de campo para dois cultivares de arroz sob duas densidades de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 5(1): 1-6, 1981.

- BRUNINI, O.; MIRANDA, M.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; PEREIRA, J. C.V.; SCHIMIDT, N.C. Influência da água disponível no solo sobre a produção de cultivares de soja. In: III Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Campinas. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. Instituto Agronômico de Campinas, 1983. p.245-253.
- BUDYKO, M.I. The heat balance of the earth's surface. Washington, Office of technical services, U.S. Dept. of Commerce, 1958. 259p.
- CAMARGO, M.B.P.; ARRUDA, H.V.; PEDRO Jr., M.J.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R. Probabilidades de atendimento da demanda hídrica da cultura do trigo pela precipitação pluvial no estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1988. 26p. (*Boletim técnico 120*).
- CAMARGO, C.E. & FELICIO, J.C. Instruções agrícolas para o estado de São Paulo. Campinas. Instituto Agronômico de Campinas, 1990. (*Boletim nº 200*).
- COCHRAN, V.L.; ELLIOT, L.F.; PAPENDICK, R.I. Effect of crop residue management and tillage on water use efficiency and yield of winter wheat. *Agronomy Journal*, 74(6):929-932, 1982.
- COSTA, J. DE P.R.; AZEVEDO, P.V. DE; FILHO, J.M.P.; LEITÃO, M. de M. V. Resistência de uma cultura de soja ao fluxo de vapor de água para a atmosfera. In: V Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1988. vol. 2, p.143-148.

- CRUCIANI, D.E. Balanço hídrico em solo cultivado com cana-de-açúcar. Utilização do método da moderação de neutrons. Piracicaba, CENA/ESALQ, 1972. 36P. (*Boletim científico* 6).
- CUENCA, R.H. Hydrologic balance model using neutron probe data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 114(4): 644-663, 1988.
- DENMEAD, O.T. & MILLAR, B.D. Water transport in wheat plants in the field. *Agronomy Journal*, 68(2):297-303, 1976.
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, FAO, 1979. 193p. (FAO - Riego y drenaje, 33).
- DOYLE, A.D. & FISCHER, R.A. Dry matter accumulation and water use relationships in wheat crops. *Australian Journal of Agricultural Resource*, 30: 815-829, 1979.
- EHDAIE, B.; HALL, A.E.; FARQUHAR, G.D.; NGUYEN, H.T.; WAINES, J.G. Water use efficiency and carbon isotope discrimination in wheat. *Crop Science*, 31: 1282-1288, 1991.
- FELICIO, J.C.; CAMARGO, C.E.O.; FERREIRA, A.W.P.; FREITAS, J. G. BARROS, B.C.; VITTI, P. Tocantins (IAC-23): Novos cultivares de trigo. *Bragantia*, 47(1):93-107, 1988.
- FELICIO, J.C.; CAMARGO, C.E.O.; FERREIRA, A.W.P.; RAMOS, V.J.; GALLO, P.B.; CASTRO, J.L. DE. Avaliação de cultivares de trigo no estado de São Paulo em 1989. In: VI Reunião da Comissão Centro-Sul brasileira de pesquisa de trigo/Instituto Agrônômico de Campinas, 1990.
- FERRAZ, E.S.B. Estudo de evapotranspiração real através da medida de umidade do solo por moderação de neutrons. Piracicaba, CENA/ESALQ, 1972. 40p. (*Boletim Científico* nº 5).

- FISCHER, R.A. & KOHN, G.D. The relationship between evapotranspiration and growth in the wheat crop. *Australian Journal Agricultural Resource*, 17:255-267, 1966.
- FRENCH, R.J. & SCHULTZ, J.E. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type. Environment - I. The relation between yield, water use and climate. *Australian Journal Agricultural Resource*, 35:743-764, 1984a.
- FRENCH, R.J. & SCHULTZ, J.E. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type. Environment - II. Some limitations to efficiency. *Australian Journal of Agriculture Resource*, 35: 765-775, 1984b.
- FRIZZONE, J.A. & OLITTA, A.F.L. Efeitos da supressão de água em diferentes fases do crescimento na produção do trigo. *Engenharia Rural (USP/ESALQ)*, 1(1):23-26, 1990.
- GOUDRIAAN, J. *Crop micrometeorology: a simulation study*. Wageningen, Centre for agricultural publishing and documentation (Netherlands), 1977. 249p.
- GREEN, C.F.; VAIDYANATHAN, L.V.; HOUGH, M.N. An analysis of the relationship between potential evaporation and dry matter accumulation for winter wheat. *Journal of Agricultural Science*, 100: 351-358, 1983.
- HANKS, R.J. & PUCKRIDGE, D.W. Prediction of the influence of water, sowing date and planting density on dry matter production of wheat. *Australian Journal Agric. Res.*, 31: 1-11, 1980.
- HATFIELD, J.L. Wheat canopy resistance determined by energy balance techniques. *Agronomy Journal*, 77:279-283, 1985.

- HATFIELD, J.L.; BAUER, A.; KANEMASU, E.T.; MAJOR, D.J.; BLAD, B.L.; REGINATO, R.J.; HUBBARD, K.G. Yield and water in relation to latitude, nitrogen and water. *Agricultural and Forest Meteorology*, 44: 187-195, 1988.
- HEITHOLT, J.J. Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen and water-stressed winter wheat. *Agronomy Journal*, 81(3): 464-469, 1989.
- HODGES, T. & KANEMASU, E.T. Modeling daily dry matter production of winter wheat. *Agronomy Journal*, 69:974-978, 1977.
- HSIAO, T.C. & ACEVEDO, E. Plant responses to water deficits, water use efficiency and drought resistance. *Agricultural Meteorology*, 14: 59-84, 1974.
- HUNT, R. Plant growth analysis. *Studies in biology*, 96. London, 1981.
- ISLAM, M.T. Water of a winter wheat cultivar *Triticum aestivum*). *Agricultural Water Management*, 19(1):77-84, 1991.
- JOHNSON, R.C.; WITTERS, R.E.; CIHA, A.J. Daily patterns of apparent photosynthesis and evapotranspiration in a developing winter wheat crop. *Agronomy Journal*, 73: 414-418, 1981.
- KALININ, N.I. Water consumption and productivity of spring wheat with varying soil moisture content. *Soviet Agricultural Science*, 10:8-10, 1981.
- KARLEN, D.L. & WHITNEY, D.A. Dry matter accumulation, mineral concentrations, and nutrient distribution in winter wheat. *Agronomy Journal*, 72: 281-288, 1980.

- KIM, J.; VERMA, S.B.; RPSEMBERG, N. Energy balance and water use of cereal crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, 48:135-147, 1989.
- KLAASSEN, W. & BERG, W.V. Evapotranspiration derived from satellite observed surface temperatures. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 24:412-424, 1985.
- KLAR, A.E. *A água no sistema solo-planta-atmosfera*. São Paulo, Ed. Nobel, 1984. 408p.
- LAGOS, MARIO B. *História do melhoramento do trigo no Brasil*. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1983. 80p. (Boletim técnico, nº 10).
- LHOME, J.P.; GOMEZ, L.; JARAMILLO, A. Modelo matemático del balance hidrico. *Turrialba*, 34(4):503-507, 1984.
- LIBARDI, P.L. *Dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera*. Piracicaba, CENA/ESALQ, 1984. 232p.
- LIBARDI, P.L. *Evaluation and calibration of nuclear techniques compared to traditional methods in soil-water-studies*. Piracicaba, CENA/ESALQ, 1989. 30p.
- LOMAS, J. *Meteorological requirements of the wheat crop*. Bet Dagan (Israel), Central Meteorological Institute, 1987. 29p.
- MANFRON, P.A. *Análise quantitativa do crescimento do cultivar AG 401 sob diferentes sistemas de preparo do solo e população de plantas*. Piracicaba, 1985. (Mestrado-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- MCCAIG, T.N. & ROMAGOSA, I. Measurement and use of excised leaf water status in wheat. *Crop Science*, 29(5):1140-

- 1145, 1989.
- MEYER, W.S. & G.C. Water use by wheat and plant indicators of available soil water. *Agronomy Journal*, 72(2):253-257, 1980.
- MILLAR, B.D. Effect of local advection on evaporation rate and plant water status. *Australian Journal of Agric. Resource*, 1585-90, 1964.
- NKEMDIRIM, L.C. & HALEY, P.F. An evaluation of grassland evapotranspiration. *Agricultural Meteorology*, 11: 373-383, 1973.
- OLITTA, A.F.L. *Os métodos de irrigação*. São Paulo, Livraria Nobel S.A., 1981. 267p.
- OLIVEIRA, D. de. Evapotranspiração máxima e necessidade de água para irrigação de feijão em seis locais do Paraná. In: VII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Viçosa. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia - Universidade Federal de Viçosa, 1991. p.236-237.
- OLIVEIRA, Z.P. & REICHARDT, K. Variabilidade espacial do balanço hídrico em uma cultura de milho (*Zea mays*). In: VII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Viçosa, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia - Universidade Federal de Viçosa, 1991. p. 140-142.
- OMETTO, J.C. *Bioclimatologia Vegetal*. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1981. 440p.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; NIELSEN, D.R. Unsaturated hydraulic conductivity determination by a scaling technique. *Soil Science*, 120(3): 165-168, 1975.
- REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo-*

- planta-atmosfera*. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 466p.
- REICOSKY, D.C.; DEATON, D.E.; PARSONS, J.E. Canopy air temperatures and evapotranspiration from irrigated and stress soybeans. *Agricultural Meteorology*, 21: 21-35, 1980.
- RIBEIRO, A.G.; LANZIANI, A.; KAMIAMA, A. Análise da produtividade da cultura da soja em Maringá-PR, em função do balanço hídrico do solo. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Viçosa, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Universidade Federal de Viçosa, 1991. p.257-259.
- RICKERT, K.G.; SEDGLEY, R.H.; STERN, W.R. Environmental response of spring wheat in the south-western australian cereal belt. *Australian Journal of Agricultural Resource*, 38:655-670, 1987.
- RITCHIE, J.T. Atmospheric and soil water influences on the plant water balance. *Agricultural Meteorology*, 14:183-198, 1974.
- ROSEMBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. *Microclimate. The Biological Environment*. New York, John Wiley & Sons, 2nd edition, 1983. 487p.
- SAKAI, E. Balanço hídrico e energético na cultura irrigada do feijoeiro em latossolo roxo. Piracicaba, 1989. 121p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz/USP").
- SANSIGOLO, C.A. & FARIA, A.J. Balanços de radiação e de energia numa floresta tropical de *Pinus elliottii*. In: V Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro

Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1988. vol.2, p.X17-X21.

SANTOS, R. Um estudo das resistências ao transporte de vapor sobre uma cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1985. 84p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

SCOTT, H.D.; FERGUSON, J.A.; WOOD, L.S. Water use, yield and dry matter accumulation by determinate soybean grown in a humid region. *Agronomy Journal*, 79(5):870-875, 1987.

SHARMA, D.K.; A.; SINGH, K.N. Effect of irrigation scheduling on growth, yield and evapotranspiration of wheat in sodic soils. *Agricultural Water Management*, 18(3):267-276, 1990.

SCHUEPP, P.H.; DESJARDINS, R.L.; MACPHERSON, J.I.; BOISVERT, J.; AUSTIN, L.B. Airborne determination of regional water use efficiency and evapotranspiration: present capabilities and initial field tests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 41: 1-19, 1987.

SEATON, K.A.; LANDSBERG, J.J.; SEDGLEY, R.H. Transpiration and leaf water potentials of wheat in relation to changing soil water potential. *Australian Journal of Agricultural Resource*, 28:355-367, 1977.

SEEMANN, J. Water requirements of plants. In: *Agrometeorology* Seemann. J.; Lomas, J.; Chirkov, Y. I.; Primault, B. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1979. p.294-297.

SELLERS, W.D. *Physical Climatology*. Chicago, The University of Chicago Press. 5th edition, 1974. 272p.

SINGH, S.D. Moisture-sensitive growth stages of dwarf wheat

- and optimal sequencing of evapotranspiration deficits. *Agronomy Journal*, 73(3):387-391, 1981.
- SINGH, P.; WOLKEWITZ, J.; KUMAR, R. Comparative performance of different crop production functions for wheat *Triticum aestivum* L.). *Irrigation Science*, 8: 273-290, 1987.
- SPIEGEL, M.R. *Estatística/Coleção Schaum*. São Paulo, Mac Graw-Hill do Brasil, 1974. 580p.
- STEINMETZ, S.; LAGOUARDE, J.P.; GUERIF, M.; DELECOLLE, R.; SEGUIN, B. Relações entre a eficiência de uso da radiação solar de uma cultura de trigo e índices de deficiência hídrica baseados na evapotranspiração e na termometria infravermelha. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Viçosa, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Universidade Federal de Viçosa, 1991. p. 218-220
- THOM, A.S. Momentum, mass and heat exchange of vegetation. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 98: 124-134, 1972.
- VILLA NOVA, N.A. Estudos sobre balanço de energia em cultura de arroz. Piracicaba, 1975. 89p. (Livre docência-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- VOLPE, C.A. Eficiência no uso da água, resistência estomática e parâmetros aerodinâmicos da cultura de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1986. 204p. (Doutorado-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- WETZEL, P.J. & CHANG, Jy-Tai. Concerning the relation between evapotranspiration and soil moisture. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26: 18-27, 1987.

A P Ê N D I C E

A P P E N D I C E

Apêndice 1. Dados meteorológicos normais (1961-1990) de temperatura média do ar (TM), precipitação total média (PTM) e número médio de dias com chuva. Fonte: Estação agrometeorológica da Seção de Climatologia Agrícola do IAC (Latitude 22°54'S, longitude 47°05'S e altitude 699m).

MES	TM (°C)	PTM (mm)	Dias com chuva
JAN	23.1	234	16
FEV	23.3	187	14
MAR	22.7	140	12
ABR	20.9	73	7
MAI	18.5	68	6
JUN	17.2	52	5
JUL	17.4	32	4
AGO	18.9	41	5
SET	20.3	68	7
OUT	21.3	126	10
NOV	22.0	137	11
DEZ	22.4	224	16
ANO	20.7	1379	113

Apêndice 2. Valores médios horários das temperaturas do ar dos bulbos seco e úmido, em dois níveis (T1, T2, TU1, TU2, respectivamente), razão de Bowen (β), radiação líquida (RL), fluxo de calor no solo (G), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H), obtidos em cultura de trigo nos dias 03 e 17 de julho, 02, 08 e 29 de agosto de 1987 no Campo Experimental do IAC em Campinas.

Apêndice 2.1. Valores médios horários no dia 03/jul/89.

HDRA	T2	T1	TU2	TU1	TU/T	TUm	θ	RL	G	LE	H	
	QC					QC			$W.m^{-2}$			
0930-1000	25.2	25.0	22.4	22.7	1.5	22.6	3.61	.227	165.5	16.3	121.6	27.6
1000-1030	25.2	25.4	22.4	22.7	1.5	22.6	3.61	.227	265.7	22.7	198.0	45.0
1030-1100	26.2	26.3	22.5	23.0	5.0	22.8	3.63	.058	379.7	28.2	332.2	19.3
1100-1130	25.6	25.7	22.2	22.5	3.0	22.4	3.60	.102	430.7	36.1	358.1	36.5
1130-1200	25.3	25.4	21.7	22.1	4.0	21.9	3.56	.076	458.1	36.5	391.8	29.8
1200-1230	25.1	25.3	21.6	21.8	1.0	21.8	3.55	.392	421.5	33.4	278.8	109.0
1230-1300	24.8	24.9	21.2	21.4	2.0	21.3	3.48	.168	282.0	27.4	218.0	36.6
1300-1330	24.7	24.9	21.1	21.2	.5	21.2	3.47	1.36	164.3	19.5	61.3	83.5
1330-1400	24.7	24.9	20.8	21.0	1.0	20.9	3.41	.415	239.6	13.2	160.0	66.4
1400-1430	24.8	24.9	20.6	21.0	4.0	20.8	3.41	.079	160.0	13.4	135.9	10.7
1430-1500	23.7	23.8	19.8	20.2	4.0	20.0	3.31	.082	-95.0	2.9	-90.5	-7.4

Apêndice 2.2. Valores médios horários no dia 17/jul/89.

HORA	T2	T1	TU2	TU1	TU/T	TUm	β	RL	G	LE	H
	°C			°C					$W.m^{-2}$		
0930-1000	20.5	20.0	17.7	18.1	-.8	17.9	3.06	-.29	191.9	11.9	253.5 -73.5
1000-1030	22.5	22.2	19.4	19.5	-.3	19.5	3.25	-.48	311.6	18.8	566.3 -273.5
1030-1100	25.0	23.8	21.3	20.5	.67	20.9	3.41	.778	389.5	24.6	205.2 159.6
1100-1130	26.9	25.2	22.5	21.3	.71	21.9	3.56	.655	443.6	34.2	247.4 162.0
1130-1200	28.7	26.0	23.7	21.6	.78	22.7	3.62	.548	491.2	37.8	292.9 160.5
1200-1230	29.8	26.7	24.2	21.5	.87	22.9	3.63	.463	493.6	44.3	307.1 142.2
1230-1300	30.5	26.5	24.2	21.0	.80	22.6	3.61	.530	490.4	42.9	292.5 155.0
1330-1330	31.6	27.7	25.5	21.8	.95	23.7	3.71	.396	459.9	25.1	311.5 123.4
1330-1400	30.8	29.1	24.2	23.2	.59	24.1	3.74	.833	384.8	36.4	190.0 158.3
1400-1430	31.1	29.9	23.8	23.2	.50	23.5	3.70	1.18	299.8	32.8	122.7 144.3
1430-1500	30.6	30.1	23.4	23.5	-.2	23.5	3.70	-.57	137.8	24.0	267.8-154.0
1500-1530	30.3	29.9	22.7	22.8	-.2	22.8	3.63	-.52	38.7	17.3	45.0 -23.6
1530-1600	30.1	29.8	22.8	23.1	-1.0	23.0	3.65	-.21	-89.9	10.1	-127.4 27.4

Apêndice 2.3. Valores médios horários no dia 02/ago/89.

HORA	T2	T1	TU2	TU1	TU/T	TUm	δ	RL	G	LE	H	
	°C					°C			$W.m^{-2}$			
0530-0600	10.7	11.1	10.3	10.8	1.25	10.6	2.02	.656	-427.4	-16.6	-268.1	-175.9
0600-0630	10.8	11.0	10.3	10.8	2.50	10.6	2.02	.247	-428.4	-16.6	-356.9	-88.2
0630-0700	10.8	11.0	10.3	10.9	3.00	10.6	2.02	.198	-416.1	-15.6	-360.4	-71.4
0700-0730	11.5	11.8	10.8	11.6	2.67	11.2	2.17	.209	-388.2	-6.5	-326.5	-68.2
0730-0800	12.4	12.7	11.6	12.3	2.33	12.0	2.38	.220	-221.5	-.9	-182.3	-40.1
0800-0830	13.3	13.7	12.1	13.0	2.25	12.6	2.50	.216	-109.0	0	-89.6	-19.4
0830-0900	13.7	14.3	12.7	13.5	1.33	13.1	2.64	.398	36.7	0	26.2	10.4
0900-0930	15.1	15.9	13.8	14.8	1.25	14.3	2.68	.426	170.5	4.4	116.5	49.6
0930-1000	16.8	17.6	15.0	15.7	.88	15.4	2.79	.687	297.8	10.2	170.5	117.1
1000-1030	17.9	18.8	15.6	16.2	.67	15.9	2.84	1.12	397.3	26.9	174.8	195.6
1030-1100	18.5	19.3	16.2	16.6	.44	16.4	2.89	1.44	474.5	31.0	181.5	262.3
1100-1130	19.9	20.7	17.3	17.2	-.1	17.4	3.00	.364	518.2	40.0	350.6	127.6
1130-1200	22.0	22.7	18.0	18.8	1.14	18.4	3.12	.390	572.1	45.3	379.0	147.8
1200-1230	22.1	22.7	18.8	19.2	.67	19.1	3.19	.888	583.5	51.0	282.1	250.5
1230-1300	21.7	23.0	18.4	19.4	.77	18.9	3.18	.690	572.1	49.4	309.3	213.4
1300-1330	21.8	23.6	18.4	19.8	.78	19.1	3.19	.672	528.1	43.2	290.0	194.9
1330-1400	21.8	24.0	18.3	20.2	.86	19.3	3.23	.562	460.6	38.8	270.0	151.7
1400-1430	21.5	22.7	17.1	18.9	1.50	18.0	3.07	.277	369.8	34.0	262.9	72.8
1430-1500	22.2	23.2	17.6	19.5	1.90	18.6	3.15	.201	259.7	24.5	195.8	39.4
1500-1530	21.6	23.7	17.5	19.7	1.05	18.6	3.15	.433	135.1	17.0	82.4	35.7
1530-1600	21.4	23.6	17.8	19.4	.73	18.6	3.15	.770	-10.5	12.9	-13.2	-10.2
1600-1630	21.5	22.5	17.8	18.8	1.00	18.3	3.10	.476	-136.1	7.4	-97.2	-46.3
1630-1700	22.1	21.9	18.2	17.9	1.50	18.1	3.09	.275	-268.3	3.0	-212.8	-58.5
1700-1730	20.7	20.5	17.0	16.8	1.00	16.9	2.95	.513	-378.2	0	-250.0	-128.3

Apêndice 2.4. Valores médios horários no dia 08/ago/89.

HORA	T2	T1	TU2	TU1	TU/T	TUm	B	RL	G	LE	H
	°C					°C			W.m ⁻²		
0530-0600	10.1	10.5	10.1	10.4	.75	10.3	2.00	2.00	-419.4	-14.8	-269.7
0600-0630	10.1	10.2	10.1	10.2	1.0	10.2	2.00	1.00	-415.4	-14.8	-200.3
0630-0700	10.2	10.4	10.2	10.5	1.5	10.4	2.00	.50	-399.3	-13.9	-256.9
0700-0730	10.8	11.0	10.7	11.1	2.0	10.9	2.10	.313	-347.8	-8.9	-258.1
0730-0800	12.0	12.4	11.8	12.3	1.25	12.1	2.38	.506	-242.6	0	-161.1
0800-0830	12.6	13.2	12.2	12.9	1.17	12.6	2.50	.519	-81.9	0	-53.9
0830-0900	14.1	14.8	13.6	14.3	1.0	13.9	2.61	.621	51.8	1.9	30.8
0900-0930	15.5	16.1	14.6	15.2	1.0	15.3	2.78	.562	170.3	8.3	103.7
0930-1000	16.5	17.0	15.3	16.0	1.4	15.6	2.81	.341	290.9	19.3	202.5
1000-1030	17.5	18.7	16.0	17.0	.83	16.5	2.91	.707	401.6	29.7	217.9
1030-1100	18.7	20.3	17.0	18.1	.69	17.6	3.02	.923	478.7	37.0	229.7
1100-1130	22.1	23.5	19.0	20.4	1.0	19.7	3.27	.441	540.9	37.9	349.2
1130-1200	24.0	25.3	20.9	21.7	.62	21.3	3.48	.876	591.5	42.5	292.6
1200-1230	25.2	26.7	21.3	22.1	.53	21.7	3.54	1.13	584.1	46.6	252.8
1230-1300	26.0	27.3	21.8	22.5	.53	22.2	3.59	1.07	571.1	41.1	255.8
1300-1330	26.3	27.7	21.3	22.5	.85	21.9	3.55	.49	536.1	37.7	334.5
1330-1400	26.5	28.1	21.5	22.5	.62	22.0	3.58	.808	407.4	36.5	205.1
1400-1430	25.9	25.8	21.6	21.4	2.0	21.5	3.50	.167	342.1	30.5	267.0
1430-1500	25.1	26.1	22.3	21.4	-.9	21.9	3.56	-.23	207.5	25.0	239.5
1500-1530	26.1	28.0	22.6	22.1	-.2	22.4	3.60	-.51	83.9	13.7	145.3
1530-1600	27.5	28.5	23.6	23.1	-.5	23.4	3.70	-.35	48.7	6.5	65.0
1600-1630	27.6	29.5	24.0	23.1	-.4	23.6	3.71	-.36	-123.7	3.7	-199.9
1630-1700	25.5	24.9	23.5	22.9	1.0	23.2	3.68	.373	-241.6	4.2	-179.0
1700-1730	22.9	22.5	20.0	19.5	1.25	19.8	3.29	.321	-343.0	0	-259.7

Apêndice 2.5. Valores médios horários no dia 29/ago/89.

HORA	T2	T1	TU2	TU1	TU/T	TUm	θ	RL	G	LE	H	
	°C					°C			W.m ⁻²			
1000-1030	20.9	21.0	16.2	17.0	8.0	16.6	2.91	.04	736.8	42.1	664.8	29.9
1030-1100	21.8	21.3	16.2	17.4	-2.4	16.8	2.94	-.12	809.1	60.8	854.2	-105.9
1100-1130	21.9	22.0	16.3	17.6	13.0	17.0	2.96	.03	868.8	77.9	770.1	20.8
1130-1200	23.3	24.0	17.7	18.8	1.57	18.3	3.11	.26	717.7	60.9	522.1	134.7
1200-1230	23.9	24.4	17.8	19.1	2.60	18.5	3.13	.14	662.3	50.9	536.3	75.1
1230-1300	24.7	25.2	18.3	19.9	3.20	19.1	3.21	.11	647.4	46.8	542.1	58.5
1300-1330	24.8	25.7	18.5	20.0	1.67	19.3	3.23	.23	604.4	50.2	451.3	102.9
1330-1400	26.9	27.5	19.9	20.6	1.17	20.3	3.36	.34	558.0	40.2	386.1	131.7
1400-1430	27.0	27.2	19.8	20.5	3.50	20.2	3.34	.09	471.8	32.2	401.8	37.8
1430-1500	27.6	27.5	20.2	20.9	-7.0	20.6	3.38	-.04	376.2	20.6	370.8	-15.2
1500-1530	28.4	28.0	20.4	21.6	-3.0	21.0	3.42	-.08	283.8	15.0	295.1	-26.3
1530-1600	27.0	27.1	20.1	21.2	11.0	20.7	3.41	.03	170.5	12.0	154.3	4.2
1600-1630	27.0	26.7	20.0	21.0	-3.3	20.5	3.38	-.08	66.8	5.6	66.7	-5.5
1630-1700	26.1	26.2	19.6	20.5	9.0	20.1	3.32	.04	-56.9	4.5	-59.3	-2.1
1700-1730	24.8	24.7	18.9	19.7	-8.0	19.3	3.23	-.03	-177.3	0	-184.1	6.8
1730-1800	22.9	23.1	17.8	18.3	2.5	18.1	3.08	.15	-232.9	0	-202.7	-30.2
1800-1830	21.4	21.8	17.5	18.5	2.5	18.0	3.07	.15	-241.6	0	-210.1	-31.5