

QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA: Em um Sistema de Irrigação por Aspersão Tipo Pivô Central, Baseada em Balanço de Água no Solo e Levantamento Agrícola através de Imagens de Satélite

Guilherme Pedro Viero¹, Eudes José Arantes² & José Hilário Delconte Ferreira³

RESUMO --- A irrigação é uma necessidade que existe desde os primórdios da civilização humana e na atualidade representa a maior parcela dos usos da água. A quantificação dos recursos hídricos destinados a irrigação constitui em um problema, tendo em vista que existem imensas áreas irrigadas que consomem grandes volumes de água. Este trabalho tem objetivo de realizar um modelo de quantificação do consumo hídrico em sistemas de irrigação por aspersão tipo pivô central, utilizando o Distrito Federal como estudo de caso, dados oriundos de três estações climatológicas foram analisados, e utilizados junto a uma metodologia de planejamento preliminar de projetos de irrigação, a fim que se obtivesse a demanda de água para irrigação, ou seja, as perdas por evapotranspiração somadas a demanda de água do ciclo vegetativo de uma determinada cultura, cultura essa identificada a partir de imagens de sensoriamento remoto, em conjunto com o calendário agrícola regional. Os resultados encontrados para a evapotranspiração compararam-se de forma similar para os dados das três estações climatológica. No cálculo da demandas hídricas verificou-se a pequena influência da pedologia quanto às quantidades totais, mas observou-se a influência nos turnos de rega.

ABSTRACT --- Irrigation is a necessity which has existed since the beginnings of human civilization and today represents the largest uses of water. The quantification of water resources for irrigation is difficult, because there are many irrigated areas that consume large volumes of water. This work is aimed to realize a model for quantification of water use in irrigation systems by used the center pivot, in the Distrito Federal in Brazil. The data from three weather stations were analyzed, and used with a methodology for preliminary planning projects of irrigation and the demand for water for irrigation or the losses by evapotranspiration demand of water added to the growing season of a particular agriculture. The agriculture was identified from sensing remote images, together with the regional agricultural calendar. The similar results were observed to the evapotranspiration calculated to the data of the three climatological stations. In the calculation of water demands was observed a little influence of pedology as to the total quantity, but there was observed in the influence in the turn of irrigation.

Palavras-chave: Balanço de água no solo, evapotranspiração, sensoriamento remoto, levantamento agrícola.

1) Aluno de Tecnológica em Gestão Ambiental da UTFPR, Campus Campo Mourão, Caixa Postal 271, Campo Mourão-PR, 87301-006, e-mail: guilherme_viero@yahoo.com.br

2) Professor da UTFPR, Campus Campo Mourão, Caixa Postal 271, Campo Mourão-PR, 87301-006, e-mail: eudesarantes@utfpr.edu.br

3) Professor da UTFPR, Campus Campo Mourão, Caixa Postal 271, Campo Mourão-PR, 87301-006, e-mail: jferreira@utfpr.edu.br

INTRODUÇÃO

O homem desde as primeiras colonizações teve água como principal fonte de sobrevivência, tanto para sua dessedentação quanto ao uso para irrigação, tornando a água uma fonte de energia (conversão em alimentos). Porém, quanto à qualidade e quantidade de água requerida, acreditavam-se não ter fim. Nos dias de hoje segundo dados da organização das nações unidas para agricultura e alimentação – FAO, no Brasil 63% dos usos são para irrigação, 18 % para abastecimento humano, 14 para uso animal e 5% para uso industrial, sem que haja cobrança por esse bem para fins de irrigação.

Tendo em vista as diversas leis federais e estaduais, que tratam a água como um bem público, onde todos têm o direito. Alguns agricultores certamente são privilegiados, onde poucas propriedades têm esse recurso disponível, tornando o bem não público e sim de poucos particulares. Além disso, leis federais e estaduais tratam da cobrança do uso da água, o código federal das águas de 1934 que foi regulamentada pela lei federal 10.881/04.

Nesse contexto surge uma problemática, de como pode ser quantificada a água utilizada nesses sistemas, tendo em vista que existem imensas áreas irrigadas onde são consumidos grandes volumes de água sem que haja controle, torna-se viável um modelo de quantificação baseado em balanço hídrico, que mede a entrada e saída de água do solo, considerando as necessidades hídricas das culturas.

O trabalho foi realizado utilizando dados climatológicos de 3 estações climatológicas automáticas localizadas nas proximidades e dentro dos limites do Distrito Federal, que está localizado no centro-oeste brasileiro limitado ao norte pela linha imaginária do paralelo 15°30'00'', e o extremo sul é delimitado pelo paralelo 16°03'06''.

O mesmo tem como objetivo a elaboração de um modelo de quantificação de recursos hídricos consumidos pela irrigação por aspersão, método pivô-central, através do balanço hídrico climatológico. Utilizando dados de evapotranspiração de referencia ET_0 obtidos pelo método universal padrão FAO 56 – Penman-Monteith (FAO56-PM) de estações climatológicas automáticas e exemplificar um modelo de quantificação da demanda hídrica, baseada em dados pedológicos do Distrito Federal e cultura agrícola implantada sob regime irrigado identificada a partir de uma série histórica de imagens de Sensoriamento Remoto. dos sensores TM a bordo do satélite Landsat-5 e sensores CCD a bordo dos satélites CBERS-2 e CBERS-2B.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado nas proximidades e dentro dos limites do Distrito Federal (Figura 1). O Distrito Federal está localizado no centro-oeste brasileiro limitado ao norte pelo paralelo $15^{\circ}30'00''$, e o extremo sul é delimitado pelo paralelo $16^{\circ}03'06''$ ocupando uma área de 5.782,80 Km², dentro do Estado de Goiás.

Apresenta topografia suave, com altitudes entre 750 e 1.349 metros, é drenado por rios que pertencem às mais importantes bacias fluviais do Brasil: Bacia Platina, Bacia São Franciscana e Bacia Amazônica. O Distrito Federal é considerado relativamente pequeno quando comparado com os demais Estados brasileiros, porém seu território agrícola é composto por vastas áreas irrigadas pelo método de aspersão tipo pivô-central.

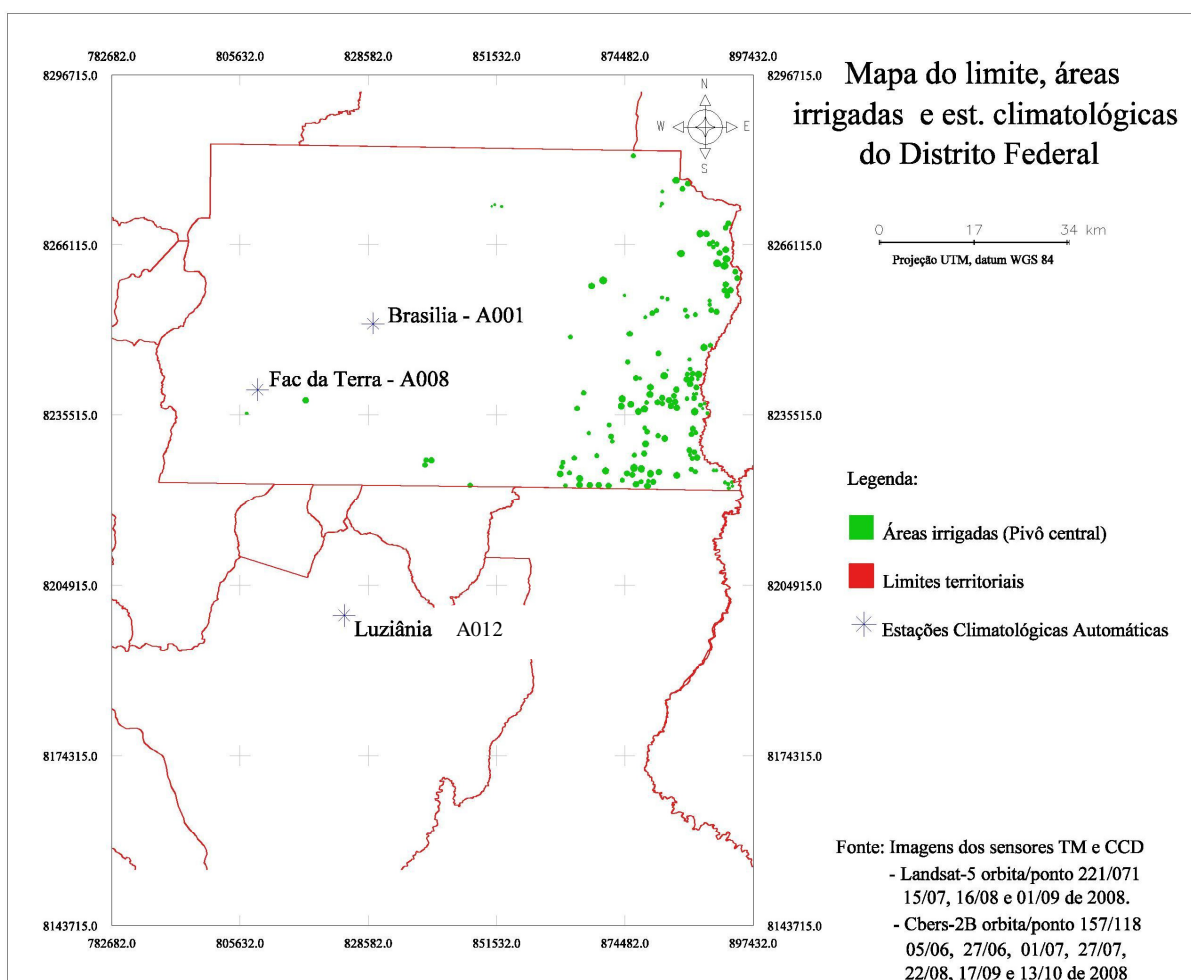


Figura 1: Limites do Distrito Federal, estações climatológicas e áreas irrigadas.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima do DF é considerado tropical de savana e temperado chuvoso com inverno seco, existem duas estações bem definidas, uma chuvosa e quente, e outra fria e seca. A temperatura média registrada ao longo do ano é de 20,5° C, a precipitação

XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

pluviométrica média anual de 1.925 mm, já a formação vegetal é predominantemente savana, conhecida como cerrado.

Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas.

As atividades geotecnológicas foram realizadas com o auxílio do software Spring – INPE, os dados de entrada se concentraram em imagens de dois sensores, o sensor TM - (Thematic Mapper) a bordo do satélite Landsat-5, essas imagens possuem sete bandas, com resolução geométrica das imagens nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 são de 30 m para a banda 6, a resolução é de 120 m; e imagens do sensor CCD - (Couple Charged Device) a bordo dos satélites CBERS-2 e CBERS-2B, a câmera CCD possui cinco faixas espectrais e fornece imagens de uma faixa de 113 Km de largura a uma resolução de 20m. A resolução temporal desses satélites é de 26 dias.

O software Spring em sua plataforma de processamento exige a criação de um banco de dados, que concentrou todos dados inerentes ao sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas, os dados de entrada se concentraram basicamente em imagens de satélite georreferenciadas.

As imagens utilizadas datadas entre o intervalo de 05 de junho a 13 de outubro de 2008 conforme tabela 1.

Tabela 1: Imagens dos satélites com respectivas datas, sensores, e intervalos temporais entre cenas.

Satélite	Orbita/ponto	Data da imagem	Sensor	Intervalo temporal	
CBERS_2B	157/118	05/06/2008	CCD		
CBERS_2	157/118	27/06/2008	CCD	22	dias
CBERS_2B	157/118	01/07/2008	CCD	4	dias
LANDSAT_5	221/071	15/07/2008	TM	14	dias
CBERS_2B	157/118	27/07/2008	CCD	12	dias
LANDSAT_5	221/071	16/08/2008	TM	18	dias
CBERS_2B	157/118	22/08/2008	CCD	4	dias
LANDSAT_5	221/071	01/09/2008	TM	10	dias
CBERS_2B	157/118	17/09/2008	CCD	16	dias
CBERS_2B	157/118	13/10/2008	CCD	26	dias

O primeiro passo no tratamento das imagens foi união das bandas espectrais, as cenas quando solicitadas ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE foram disponibilizadas em bandas espectrais separadas, sendo necessário a união desses arquivos, formando um só arquivo de imagem. Na realização do georreferenciamento das imagens foram utilizados projeção e datum referentes ao banco utilizado, no caso projeção UTM e datum WGS-84 a imagem utilizada como base para o georreferenciamento foi adquirida junto à USGS – United State Geology Service.

Os processos executados posteriormente a inserção desses dados ao banco foram efetuados de forma manual, processos de identificações (temporal e espectral) e também a criação de vetores, quantificado as áreas irrigadas.

As cenas com suas respectivas composições, Landsat-5 (R:5-G:4-B:3), CBERS-2B (R:3-G:4-B:2) CBERS-2 (R:3-G:4-B:2), auxiliaram na identificação e quantificação das áreas irrigadas; com a utilização da edição vetorial, polígonos foram criados circundando áreas que apresentassem características de áreas agrícolas irrigadas tipo pivô central.

O tratamento das imagens, cenas Landsat-5 (R:5-G:4-B:3) em conjunto com CBERS-2B (R:3-G:4-B:2) CBERS-2 (R:3-G:4-B:2), formaram uma série histórica com intervalo temporal máximo de 26 dias entre uma cena e outra, essas imagens quando alocadas em respectiva ordem cronológica, auxiliaram a identificação da evolução do ciclo vegetativo de determinada cultura sob regime de irrigação apresentando os intervalos entre início e término do ciclo vegetativo, outro fato importante nessa determinação foi a utilização de um calendário agrícola local, que de forma genérica e sucinta consegue expor o verdadeiro cenário agrícola da região do Distrito Federal.

A identificação das culturas implantadas se fez necessária uma vez que a determinação dos coeficientes K_c (Tabela 5), responsáveis pela conversão de ET_O em ET_C , são necessários conhecimentos prévios da cultura em questão e o estágio vegetativo em que se encontra, pois esses coeficientes variam conforme o ciclo em que se encontra a planta.

Pesquisadores brasileiros estão desenvolvendo metodologias que possibilitam a utilização de geotecnologias nos atuais sistemas de levantamentos de safras agrícolas, na estimativa da área plantada (RUDORFF *et al.*, 2004), e também na estimativa da produtividade agrícola (RIZZI, 2004).

A companhia nacional de abastecimento – CONAB vem utilizando, desde 2004, recursos tecnológicos de eficiência comprovada tais como: modelos estatísticos, Sensoriamento Remoto, posicionamento por satélite (GPS), SIG's e modelos agrometeorológicos.

A mesma realiza seu levantamento agrícola baseado em um modelo objetivo amostral onde a partir de imagens de satélite (CBERS e Landsat), são alocados pontos aleatórios em diversas regiões onde serão realizadas as coletas de dados a campo, a partir desses dados cria-se a amostra estratificada de municípios dentro de critérios de confiabilidade pré estabelecidos.

Para determinação da demanda hídrica, foram adotadas duas classes de textura do solo; uma arenosa e outra argilosa. A textura do solo é responsável pela determinação do coeficiente K_s , utilizado na determinação da demanda hídrica.

Determinação da Evapotranspiração de Referência (ET_o) Utilizando Método FAO56-PM

O cálculo da ET_o foi realizado a partir do método FAO56-PM, a Equação 4 foi aplicada para a determinação da ET_o horária (ET_o h⁻¹), de forma a converter em dados de ET_o diária (ET_o d⁻¹).

“Vários autores encontram boa correlação entre dados medidos em lisímetros e estimados pela equação de Penman - Monteith como, Jensen *et al.* (1990), Allen *et al.* (1994), Allen (1996), Maggiorotto (1996), Camargo e Sentelhas (1997), Sentelhas (1998), Pereira (1998), Ribeiro (1996), Hussein (1999), e Azevedo (1999).” (QUAGLIA, 2005).

Foram utilizados dados procedentes de 3 estações climatológicas automáticas, as estações Brasília - A001, Faculdade da Terra – A008 e Luziânia – A012. Essas estações foram adotadas devido a proximidade geográficas da área de estudo (Figura 1).

As fórmulas referentes ao modelo foram executadas no software Microsoft Office Excel, dados climatológicos com temporalidade de 1 hora foram adquiridos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, os dados utilizados no modelo foram; a radiação (Kj.m²), umidade relativa (%), precipitação (mm), temperatura (°C) e velocidade do vento (m/s).

Foram elaboradas tabelas e gráficos partir dos dados obtidos entre os dias 20/06/2008 a 30/09/2008. A comparação entre os resultados das ET_o diária e ET_o mensal foi realizada através dos valores acumulados no dia ou acumulo em cada mês.

Outro parâmetro utilizado nessa comparação foi a correlação, ou seja, a similaridade existente entre dados das diferentes estações, comparando-se ET_o's diários mês a mês, e também a correlação da ET_o total acumulada de cada mês.

A ET_o foi calculada pela seguinte equação, dada por FAO56-PM:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{37}{T_{hr} + 273} u_2 (e^o(T_{hr}) - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (4)$$

em que:

ET_o: evapotranspiração de referência [mm horas⁻¹],

R_n: saldo de radiação na superfície do pasto [MJ m⁻² horas⁻¹],

G: fluxo de calor densidade do solo [MJ m⁻² horas⁻¹],

T_{hr}: temperatura média horária do ar [° C],

Δ: inclinação da curva de saturação de pressão de vapor [kPa ° C⁻¹],

γ: constante psicrométrica [kPa ° C⁻¹],

e^o: (Thr) saturação pressão de vapor, a temperatura do ar Thr [kPa],

e_a : horário médio real pressão de vapor [kPa],

u_2 : média horária superior à velocidade do vento [$m s^{-1}$].

A abordagem FAO56-PM, tal como formulada acima inclui todos os parâmetros que regem no intercâmbio de energia e correspondente ao fluxo de calor latente (ET) representando uniformes extensões de vegetação. A maioria dos parâmetros medidos é ou pode ser facilmente calculada a partir de dados meteorológicos.

Determinação da Evapotranspiração Real – ET_c

A ET_0 da cultura foi calculada a partir da equação 10.

$$ETc_i = ETO_i \times Ks_i \times Kc_i \quad (10)$$

em que:

ET_{C_i} : evapotranspiração de real no dia i, mm

Kc_i : coeficiente de cultura no dia i, adimensional

Ks_i : coeficiente de umidade do solo no dia i, adimensional.

Os valores utilizados na determinação do Kc estão descritos na tabela 2.

Tabela 2 Coeficiente de cultura (Kc) para várias fases do feijoeiro em Piracicaba – SP.

Fase da Cultura	Duração (dias)	Kc
Semeadura – emergência	11	0.58
V_1 – 3° folha trifoliolada (V_4)	20	0.68
V_4 – pré-floração (R_5)	21	0.94
R_5 – início da floração (R_6)	10	1.26
R_6 – início do enchimento dos grãos (R_8)	11	1.41
R_8 – maturação fisiológica	22	1.22

Fonte: Araujo *et al.*,(1996)

Os valores de Ks foram calculados por meio da Equação 11.

$$Ks = \left(\frac{\ln(LAA_i + 1)}{\ln(CTA + 1)} \right) \quad (11)$$

em que:

LAA_i : lâmina de água armazenada no solo no dia i, mm

CTA : capacidade total de água no solo (mm)

Em que CTA é a capacidade total de água no solo (mm) e pode ser calculada por meio da Equação 12

$$CTA = DTA * Z \quad (12)$$

em que:

XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

CTA: Capacidade total de água no solo (mm)

DTA: Disponibilidade total de água, mm/cm

Z: profundidade efetiva do sistema radicular, cm

Foram utilizados dados tabelados no cálculo da CTA, A Tabela 6 apresenta valores propostos por Bernardo *et al.* (2005), onde atribui valores de porosidade do solo (%), densidade (%), C_c (% por peso) e disponibilidade total de água no solo – DTA (mm/cm), correlacionados com a textura do solo. A determinação da textura foi baseada no mapa pedológico digital proposto por Reatto *et al.*, (2004), anteriormente citado, onde os solos do Distrito Federal foram reclassificados de acordo com o sistema brasileiro de classificação dos solos determinado pela EMBRAPA.

Tabela 3: valores de porosidade, densidade, capacidade de campo (C_c) e disponibilidade total de água no solo (DTA) para diferentes texturas.

Textura do solo	Porosidade (%)	Densidade (d_s)	C_c (% em peso)	DTA (mm/cm)
Arenosa	32-42	1,55 - 1,80	10-20	0,6-1,0
Franco-arenosa	40-47	1,40- 1,60	15-27	0,9 - 1,5
Franco-arenosa- argilosa	43-49	1,35 - 1,50	11 - 17	1,4-2,0
Franco-argilosa	47-51	1,30- 1,40	31-42	1,6-2,2

FONTE: (BERNARDO et at., 2005)

Posterior a identificação da cultura do Feijão, foi adotada profundidade do sistema radicular efetivo igual a 0,25 m (ZOCOLER *et al.*,2001).

Balanço de Água no Solo

A disponibilidade de ferramentas matemáticas a serviço da irrigação pode ser interpretada por um balanço hídrico, que constitui em um balanço de massa dado pela contabilidade da água que entra e sai do solo que vai da superfície até certa profundidade (BERNARDO *et al.*, 2005). Segundo Righetto, (1998) os componentes desse balanço hídrico são dados pela entrada de água de chuva ou de irrigação, e as perdas pela ET, infiltração e enxurradas (escoamento superficial). (RIGHETTO, 1998).

A relação entre saída e entrada de água no solo foi calculada a partir da equação 13, no início da simulação considerou-se que o solo encontrava-se em C_c .

$$LAA_i = LAA_i^{-1} + Pe_i - ETr_i \quad (13)$$

em que:

LAA_i : lâmina de água armazenada no solo no dia, mm

LAA_i^{-1} : lâmina de água armazenada no solo no dia anterior a i, mm

ET_{Ci} : evapotranspiração real da cultura no dia i, mm

Pe_i : precipitação efetiva no dia i, mm.

Precipitação Efetiva

Para o cálculo da precipitação efetiva considerou-se como precipitação chuvas maiores ou igual a 5 mm. O cálculo foi baseado na capacidade de armazenamento de água no solo, foi utilizada a seguinte Equação 14.

$$Pe_i = P_i - LAA_i^{-1} \quad (14)$$

em que:

$Pe_i = P_i$ se $P_i \leq (CTA - LAA_i^{-1})$, ou

$Pe_i = (CTA - LAA_i^{-1})$ se $P_i > (CTA - LAA_i^{-1})$.

P_i : precipitação durante o dia i (mm).

Irrigação Real Necessária – IRN

A irrigação real necessária foi calculada utilizando-se a Equação 15.

$$IRN = CTA - LAA_i \quad (15)$$

em que:

IRN: irrigação real necessária, mm.

LAA_i : lâmina de água armazenada no solo no dia i , mm

CTA: capacidade total de água no solo (mm)

Irrigação Total Necessária – ITN.

Os cálculos referentes a ITN ou demanda de água, foram realizados para a cultura do feijão, sob diferentes tipos de solo, um solo argiloso e outro arenoso. Considerando turno de rega de 6 dias para o solo argiloso sendo antecipando em algumas circunstâncias para 4 ou 5 dias e 2 dias para o solo arenoso, os valores de ET_O das 3 estações foram utilizados objetivando a ET_O média, considerando os 2 tipos de solos.

A atribuição de valores à eficiência da irrigação é descrito por Gomes, (1999) e Bernardo *et al.*, (2005) os valores referentes a eficiência de aplicação podem variar entre 60% em regiões áridas com aplicação durante o dia, e podem alcançar 90% em aplicações realizadas durante período noturno. Esses valores sofrem variações inerentes a ação dos ventos, radiação e percolação. Para tanto, adotou-se eficiência de 80%, conforme recomendado para níveis de projeto.

$$ITN = IRN - Ea/100 \quad (16)$$

em que:

ITN: irrigação total necessária (mm).

IRN: irrigação real necessária. (mm).

Ea: eficiência de aplicação da irrigação (%) (adotado 80%).

confundidas com áreas não irrigadas, no entanto cenas dos meses subsequentes demonstravam a existência dessas áreas.

Identificação das culturas agrícola

Na identificação das áreas irrigadas no Distrito Federal foram utilizadas imagens Landsat-5, CBERS-2B e CBERS-2 trabalhando sempre em conjunto com imagens dos três satélites.

A série histórica confeccionada de aproximadamente cinco meses, incluindo imagem dos três satélites, orientou o levantamento da safra agrícola, essas cenas possibilitaram a identificação e diferenciação do espaço temporal dos ciclos vegetativos das culturas agrícolas existentes no distrito, observando desde a germinação à maturação.

A Figura 3 mostra a evolução do ciclo vegetativo, de uma cultura sob regime de irrigação apresentando intervalo de cerca de 95 dias do início ao término do ciclo vegetativo possivelmente representando a cultura do feijão.

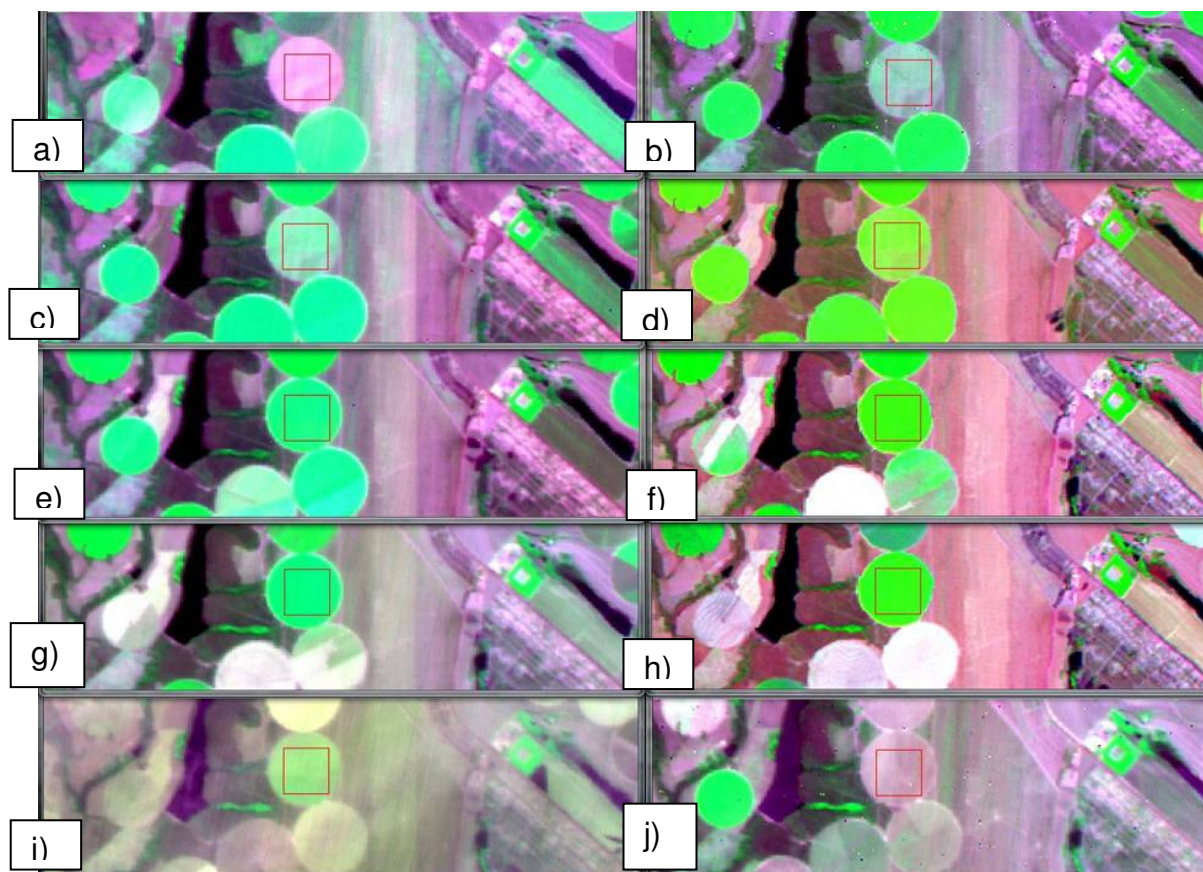


Figura 3. Serie histórico temporal de área irrigada, cenas Landsat-5 (R:5-G:4-B:3) e CBERS-2/CBERS-2B (R:3-G:4-B:2). (a) imagem CBERS-2B de **05/06/2008** , (b)) imagem CBERS-2 de **27/06/2008**, (c) imagem CBERS-2B de **01/07/2008**, (d) imagem Landsat-5 de **15/07/2008**,(e) imagem CBERS-2B de **27/07/2008**, (f) imagem Landsat-5 de **16/08/2008**, (g) imagem CBERS-2B de **22/08/2008**, (h) imagem Landsat-5 de **01/09/2008**, (i) imagem CBERS-2B de **17/09/2008**, (j) imagem CBERS-2B de **13/10/2008**.

As imagens utilizadas demonstraram forte potencial na identificação do desenvolvimento temporal das culturas agrícolas. A Figura 9 demonstra uma série histórica de 4 meses, sendo visivelmente perceptivo os diferentes ciclos em que se encontra a cultura do feijão, em um primeiro momento na cena b pode-se observar as plântulas começando seu ciclo vegetativo. Supondo que tenham emergido/germinado no dia 20/06/2008 posterior a 11 / 25 dias nas cenas c / d nota-se um rápido avanço, o intenso e uniforme desenvolvimento da biomassa, em um terceiro momento, passados 37 / 57 / 63 / 73 dias cenas e / f / g / h as características visuais são as mesmas, forte desenvolvimento vegetativo, e por fim a cena i, 89 dias após o início da germinação, nota-se claramente o amadurecimento uniforme de toda extensão vegetada e subsequente a cena j 95 dias após o plantio a área já apresenta características de solo com palhada pós colheita.

O espaço temporal que diferencia o início e fim do ciclo vegetativo, no exemplo citado, é próximo de 95 dias. Quando observamos o calendário agrícola da região a única cultura que se encontra em época de semeadura é o feijão. Coincidindo então o ciclo vegetal da cultura com o calendário agrícola, esse espaço temporal entre plantio e colheita, torna possível essa identificação, haja vista que a diferença entre os ciclos vegetativos das culturas encontradas nesse calendário são bem diferenciadas.

Devido ao espaço temporal existente no banco, tornou-se evidente a presença unilateral de uma cultura específica; a cultura do feijão. A escolha da cultura possui aspecto considerado normal, e ocorre por meio de estudos regionais, somados ao conhecimento empírico dos produtores rurais de uma mesma região, estabelecendo critérios que determinam o melhor custo benefício no cultivo de determinada safra agrícola.

Correlação entre Dados de Evapotranspiração de Referência - ET_0

A evapotranspiração de referência foi o parâmetro adotado na comparação entre as três diferentes estações meteorológicas, em um primeiro momento foram comparados as ET_0 acumulada dos meses de julho, agosto, setembro e outubro, dos dados referentes às três estações, Brasília – A001, Faculdade da terra – A008 e Luziânia – A012.

A tabela 4, apresenta dados referentes a ET_0 dos meses de julho e agosto de 2008, os valores acumulados demonstram uma forte correlação entre os dados das 3 estações, a estação Brasília – A001 apresenta valores de ET_0 inferiores quando comparados com as estações Luziânia e Faculdade da terra apresentando cerca de 10% inferior aos dados de ET_0 no acumulado mensal.

Tabela 4: valores de ET_O diários e acumulado dos meses de julho e agosto de 2008

Data	Luziânia	Brasília	F. da Terra	Data	Luziânia	Brasília	F. da Terra
01/07/2008	5,3260	5,1475	5,4803	01/08/2008	5,994	5,160	6,348
02/07/2008	4,5156	4,3615	4,7664	02/08/2008	6,271	5,470	6,834
03/07/2008	4,4508	3,9041	4,6279	03/08/2008	5,965	5,277	6,577
04/07/2008	4,3951	3,7261	3,8163	04/08/2008	4,224	4,585	4,521
05/07/2008	4,9466	4,4756	5,4728	05/08/2008	5,749	5,356	6,285
06/07/2008	4,7087	4,9896	5,5865	06/08/2008	5,689	5,643	6,210
07/07/2008	4,9861	4,8981	5,3974	07/08/2008	6,180	5,784	5,958
08/07/2008	5,1214	4,9537	5,5121	08/08/2008	6,821	6,142	6,356
09/07/2008	4,9235	4,6419	4,8150	09/08/2008	6,375	6,268	7,230
10/07/2008	4,6812	4,4991	5,0067	10/08/2008	6,407	5,952	6,785
11/07/2008	4,5783	4,4493	4,7565	11/08/2008	6,926	6,595	7,464
12/07/2008	4,4604	3,9576	4,4188	12/08/2008	6,731	6,260	6,480
13/07/2008	5,0675	4,6717	5,1487	13/08/2008	6,693	6,139	7,131
14/07/2008	5,0420	4,7803	4,8216	14/08/2008	6,863	6,088	7,095
15/07/2008	5,0599	4,7562	4,5063	15/08/2008	6,768	6,270	6,681
16/07/2008	4,9941	4,7399	4,5637	16/08/2008	6,966	6,258	6,830
17/07/2008	4,9619	4,6956	4,8028	17/08/2008	6,056	5,216	5,756
18/07/2008	4,9926	4,3496	5,3076	18/08/2008	6,699	6,120	6,384
19/07/2008	5,1280	4,3790	4,5676	19/08/2008	6,164	5,363	5,426
20/07/2008	5,5514	4,7170	6,3938	20/08/2008	5,542	5,395	5,472
21/07/2008	6,0091	5,4192	6,4966	21/08/2008	5,584	5,338	5,654
22/07/2008	6,0995	5,8964	6,0697	22/08/2008	5,706	4,801	5,830
23/07/2008	5,8908	5,1400	5,9310	23/08/2008	6,986	6,120	6,901
24/07/2008	5,9316	5,1637	6,5424	24/08/2008	6,192	6,078	6,401
25/07/2008	6,0852	5,2778	6,6447	25/08/2008	5,830	5,300	5,765
26/07/2008	6,6864	6,2266	6,9041	26/08/2008	6,069	5,799	5,982
27/07/2008	6,0263	5,9068	6,3475	27/08/2008	6,682	5,997	6,659
28/07/2008	5,5023	4,8944	5,5885	28/08/2008	4,617	4,456	5,643
29/07/2008	5,4756	4,9225	5,3048	29/08/2008	5,447	4,825	6,002
30/07/2008	5,7364	5,0371	5,5861	30/08/2008	5,997	4,964	5,509
31/07/2008	5,7806	5,0040	5,8823	31/08/2008	5,448	2,868	3,553
Acumulado	163,115	149,982	167,066	Acumulado	189,645	171,886	191,722

A estação Brasília – A001 durante o mês de agosto apresentou um valor acumulado de 149.98 mm/mês, subestimando em aproximadamente 10% a ET_O das estações F. da Terra que é de 167.06 mm/mês e de Luziânia, de 163.11 mm/mês. No mês subsequente, setembro, os valores de ET_O responderam quase da mesma forma, subestimando em 10% os dados das estações comparadas.

Porém a estação Brasília mesmo apresentando valores de ET_O abaixo das outras estações as linhas de ET_O nos gráficos demonstram forte correlação, sempre seguem o mesmo sentido, ou seja, os elementos climatológicos regionais apresentam forte correlação entre si, a estação Brasília – A001, provavelmente tenha subestimado esses valores devido a sua localização geográfica, a estação foi instalada em área hoje totalmente urbana, sofrendo interferência em todos elementos climáticos.

Os valores de ET_0 diária e ET_0 mensal obtidos das 3 estações meteorológicas foram comparados entre si por meio da correlação estatística, na tabela 5, estão descritas as comparações das estações Brasília/Luziânia, Brasília/F. da Terra e Luziânia/F. da Terra.

Tabela 5. Correlação entre dados de evapotranspiração de referencia diária e mensal de junho a setembro de 2008..

ET_0	Período	*Luziânia/Brasília	*Luziânia/F. da Terra	*Brasília/F. da Terra
Eto Diária	jun/08	0,696078709	0,830897295	0,817647753
	jul/08	0,886741847	0,875439768	0,820301729
	ago/08	0,770272405	0,734615197	0,865991751
	set/08	0,895430127	0,958808005	0,955191578
Eto Mensal	jun-set/2008	0,996224534	0,99991542	0,999995051

*Estações meteorológicas.

Os dados de ET_0 diária podem ser considerados com uma correlação razoável entre as três diferentes estações, apenas no mês de junho a correlação das estações Faculdade da Terra e Brasília apresentaram valores inferiores a 0.7, (considerando uma escala que varia de -1 a +1 os valores de ET_0 diária apresentam uma correlação de 70% entre dados) representando a variabilidade no clima das três estações em estudo.

Já na correlação de ET_0 mensal os valores demonstraram, que os acumulados de ET_0 d^{-1} subdivididos em seus respectivos meses, junho a setembro de 2008 obteve-se uma correlação muito próxima de 1, variando de 0.99 a 0.99999 indicando que os valores de ET_0 regionais variam quase que igualmente nas diferentes estações. Esta é mais uma justificativa para o uso dos dados diários, de forma a representar melhor a variabilidade do clima das três regiões.

O Figura 4 demonstra os valores de ET_0 diária acumulados referentes a cada mês, devido a falta de alguns dados, os valores da ET_0 do mês de setembro só foram contabilizados a partir do dia 19, e os valores da ET_0 do mês de junho foram contabilizados entre os dias 20 e 30.

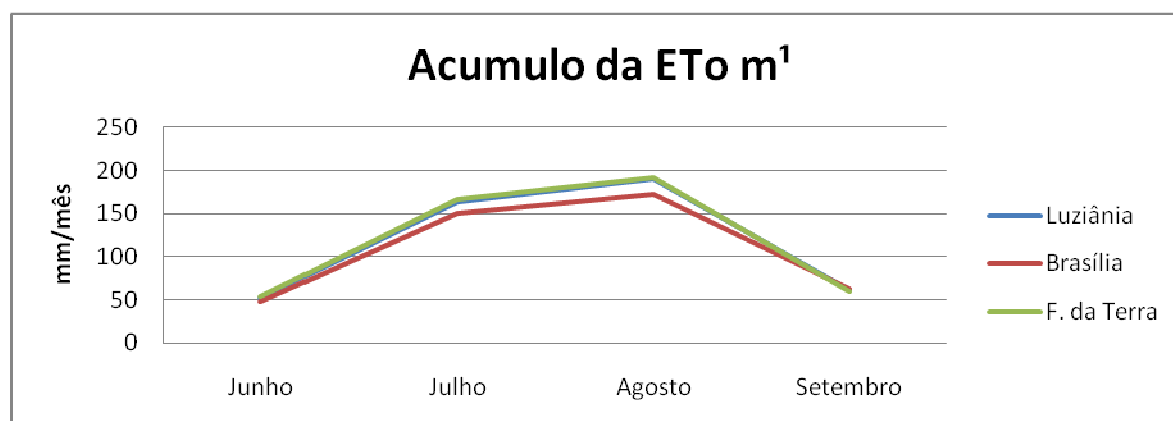


Figura 4: Acumulo de ET_0 mensal.

Irrigação Total Necessária

A tabela 6 apresenta valores da demanda de água, considerando o ciclo total para a cultura do feijão, entre os dias 20/06 a 22/09 de 2008 totalizando 95 dias, sob 2 tipos de solo, um solo argiloso e outro arenoso. Os valores de ETo das 3 estações foram utilizados objetivando a ETo média diária, a qual foi utilizada no cálculo da demanda hídrica.

Tabela 6. Demanda hídrica por hectare considerando ciclo de 90 dias para cultura do feijão.

Solo	demanda/ha/sf. (m ³)	Diferença/ha/sf. (m ³)	Diferença/ha/sf. (%)
Argiloso	5568	227	4.1
Arenoso	5341	0	0

Os valores obtidos 5341 m³ para solo tipo arenoso, e 5568 m³ para o solo argiloso, demonstram uma variação de 4.1% no volume final da demanda hídrica ao fim da safra, supondo uma área de 100 ha, esse valor torna-se significante, totalizando 22700 m³, essa quantidade possibilita a irrigação de aproximadamente 5 ha a mais quando considerado um solo arenoso.

A demanda de água requerida para o solo argiloso, certamente foi superior ao solo arenoso, devido à alteração da disponibilidade total de água no solo – DTA, dada em mm/cm correspondendo 0.8 ao solo arenoso e 1.9 ao solo argiloso, os valores do coeficiente Ks variam de forma menos brusca no solo argiloso, isso se dá devido a diferença hídrica existente entre LAA_d e LAA_d⁻¹.

O solo argiloso quando em C_C, com 1.9 mm/cm de DTA em LAA_d⁻¹, supondo que sofra perda de 0.1mm/d por ET, constata-se que LAA_d torna-se 5.26% inferior à disponibilidade inicial de água (LAA_d⁻¹), já observando um solo arenoso cuja DTA é igual a 0.8 mm/cm em LAA_d⁻¹, quando há essa mesma perda de 0.1 mm/d a diferença torna-se maior 12.5, entre um dia e outro.

A diferença entre valores de LAA_d e LAA_d⁻¹ influenciam diretamente no coeficiente Ks, responsável pelas restrições da capacidade do solo em evaporar, ou seja quanto menor a quantidade de água no solo, maior será sua capacidade em reter essa água, inibindo assim que a ET seja a máxima,

A determinação da ET_C considera o decréscimo de umidade no solo como um parâmetro de medida da ET, a ETo multiplicada ao coeficiente Kc determina a ET_{PC} que multiplicado ao Ks determina minha ET_C.

Tabela 7: Valores acumulados de ET_C e correlação entre dados diários e acumulo mensal de ET_C em solo de textura argilosa e arenosa.

Mês	Acumulo ET_C (arenoso) (mm)	Acumulo ET_C (argiloso) (mm)	Correlação argila/areia (acúmulos diários)
Junho (dia 20 a 30)	28.7	29.1	0.89
Julho (dia 1 a 31)	116.3	120.0	0.93
Agosto (dia 1 a 31)	183.9	202.9	0.93
Setembro (dia 1 a 22)	135.5	132.2	0.91

A correlação entre dados diários conforme apresentado na tabela 7 foi o parâmetro adotado como forma de quantificação da relação entre os dados de saída de água (ET_O) de um solo arenoso frente a um solo argiloso, os meses de julho, agosto e setembro apresentaram 0.93, 0.94, 0.91 respectivamente, uma correlação considerada alta, apenas o mês de junho apresentou correlação inferior a 0.9, apresentando 0.89 que também é considerada altamente correlata.

Os valores de $ET_C d^{-1}$ foram convertidos em dados da perda de água do solo acumulado em cada mês conforme apresentados na tabela 11, a correlação encontrada entre os valores acumulados mensais foi muito alta 0.99, podendo assim considerar irrisório o acréscimo de 4.1% na demanda final de água, de um solo arenoso frente ao solo argiloso.

CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados a partir do desenvolvimento desse trabalho apresentaram-se muito satisfatórios, a utilização de imagens de satélite dos sensores TM e CCD mostraram-se confiáveis na determinação do período vegetativo das culturas sob regime de irrigação, esse fator aliado ao calendário agrícola regional possibilitou a identificação da cultura observada.

A alta correlação apresentada entre os dados das diferentes estações, Brasília, Faculdade da Terra e Luziânia, mostram o grande potencial na estimativa da ET_O em determinada região, não excedendo 50 Km de distancia entre estações, podemos considerar pouca diferença em seus parâmetros climatológicos exceto a precipitação, partindo desse principio sugere-se o estudo desses dados de forma regional, ou seja, limites físicos mais abrangentes,

Com relação aos dados climatológicos utilizados, se faz necessário a verificação da ET_O durante o período das chuvas na região, haja vista que no presente trabalho não foi considerado a precipitação devido à época de estiagem na região em estudo.

Os dados pedológicos podem ser considerados fatores intervenientes somente no turno de rega, podendo-se considerar inexpressível a variação da quantidade de evaporação nos diferentes tipos de solo. A demanda hídrica calculada para os diferentes tipos pedológicos, argiloso e arenoso, XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

também apresentou uma diferença pequena, 4,1% maior para o solo argiloso, demonstrando influência direta da evapotranspiração.

BIBLIOGRAFIA

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: (FAO. Irrigation and drainage paper, 56)., 300p. 1998.

ADAMI, M.; MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T.; FREITAS, C. C.; FARIA, R. T.; *Expansão direta na estimativa de culturas agrícolas por meio de segmentos regulares*. Revista Brasileira de Cartografia, n. 57, v.1, p. 22 – 27. Abr. 2005.

ALBURQUERQUE, P. E. P. de; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SOUZA, F. de; SEDIYAMA, G.C.; BEZZERRA, J. R. C.; STONE, L. F. e SILVEIRA, P. M. *Coeficientes de cultivo das principais culturas anuais*. Revista Item - Irrigação e Tecnologia Moderna. n. 52/53 2001/2002.

ANA – *Cobrança Pelo Uso Da Água Com Ênfase Na Indústria*. Gerência de Cobrança pelo uso de Recursos Hídricos da Superintendência de Apoio à Gestão de Recursos Hídricos – GECOB/SAG, Agência Nacional de Águas – ANA – Brasília – DF – www.ana.gov.br/CobrancaUso, acessado dia 04 de abril 2008.

ARAUJO, R.S.; RAVA,C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O.; *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba. POTAFOS, 786p. 1996.

BARBALHO, M.G.S.; BARBALHO, F.G.; ARAÚJO, M.A.; FERREIRA, A.F.; *Análise temporal do uso da terra no município de Cristalina-GO a partir da utilização de imagens Landsat-5TM*. Artigo – Anais XIII Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, Florianópolis, Brasil, 2007, INPE. 2007. 09 p.

BERNARDO, S.; *Manual de irrigação*. 6º edição, Viçosa, MG: Ed UFV: 1996. 656 p.

BERNARDO, S.; SOARES A.A.; MANTOVANI E.C. *Manual de Irrigação*. Viçosa, MG: Ed UFV, 2005. 611 p.

CONAB – Companhia nacional de Abastecimento, *Geotecnologia*. Disponível em <http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=80>, acessado dia 20 de ago, 2008.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. *Necessidades hídricas das culturas*. Trad. H. R. Gheyi, J. E. C. Metri, F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1997. 204p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).

ENGEORPS *Manual de Outorga*. In: Relatório 210- SRH-MAO-RT-006/98, Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, Fundação Arthur Bernardes, Brasília, 1998.

FAGANELLO, C.R.F.; *Fundamentação da cobrança pelo uso da água na agricultura irrigada, na microbacia do Ribeirão dos Marins*, Piracicaba, SP (tese de doutorado) Celia Regina Ferrari Faganello. Piracicaba, 2007. 133 p.

FLORENZANO, T. G. *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo: Oficina de Texto, 2002. 97 p.

GOMES, H.P.; *Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento*. 3ª edição, Campina Grande, PB: Ed. UFP: 1999. 412 p.

INPE. *Introdução à Ciência da Geoinformação (Gilberto Câmara, Clodoveu Davis)*. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap1-introdução.pdf>, acessado dia 18 de abr, 2008.

INPE. *Tutorial de Geoprocessamento*. Disponível em http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/descricao_geral.html, acessado dia 18 de abr, 2008.

IPPOLITI-RAMILO, G. A.; EPIPHANIO, J. C. N.; SHIMABUKURO, Y. E. *Landsat-5 Thematic Mapper data for pre-planting crop area evaluation in tropical countries*. International Journal of Remote Sensing, v. 24, n. 7, p. 1521-1534, 2003.

Legislação – LEI N.º 13.123, de 16 de julho de 1997, do estado de Goiás. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como ao sistema de gerenciamento de Recursos Hídricos.

LUIZ, A. J. B.; EPIPHANIO, J. C. N. *Amostragem por pontos em imagens de sensoriamento remoto para estimativa de área plantada por município*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., Foz do Iguaçu, 2001. Anais. São José dos Campos: INPE, p. 111-118. 2001.

MARCUSSI F.N.; Varas, E.S.; WENDLAND, E.; *Balanço hídrico climatológico comparativo para a cidade de Quillota (Chile) com estimativas de evapotranspiração obtidas pelos métodos de Pneman-Monteith e pelo tanque classe A*. Irriga, Botucatu, v. 11, n.º43, p. 469-476, 2006. 09 p.

MEDEIROS, A. M. P.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E. *Imagens Landsat na estimativa de áreas de cana-de-açúcar, milho e soja*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, VIII, Salvador, 1996. Anais. São José dos Campos: INPE, 1996.

MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. *Sensoriamento remoto*. 1ª ed. UnB, DF: Ed. Universidade de Brasília, 2001. 362 p.

MOTA, F.S. *Meteorologia Agrícola*. São Paulo, SP: Ed Nobel: 1981. 376 p.

POZZEBON E.J.; CUNHA P.; CAVALCANTE A.C.; CARRARI, E. *Demanda hídrica para agricultura irrigada e sua influência nas análises de pedidos de outorga de direito de uso da água*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídrico, 2003, Curitiba. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídrico, 2003.

QUAGLIA, L. *Calibração de um lisímetro de pesagem para Monitoramento da evaporação do solo sem Cobertura vegetal*. 2005. Dissertação (Mestrado em agrônômia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

REATTO, A.; MARTINS, É.S.; FARIAS, M.F.R.; SILVA, A.V.; CARVALHO, J.O.A.; *Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 31 p. 2004.

RIGHETTO, A.M.; *Hidrologia e recursos hídricos*, São Carlos, SP EESC/USP, 1998. 840 p.

RIZZI, R. *Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul*. 212p. 2004. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. *Imagens Landsat na estimativa de área plantada com soja em municípios do Rio Grande do sul*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. Belo Horizonte. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 2003. p.231-238. 2003.

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; XAVIER, A. C.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. *Imagens de satélites no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano safra 2003/2004*. Agricultura em São Paulo, v. 52, n. 1, p. 21-39, jan./jun. 2005.

SANTOS, F. X, *Construção, instalação e testes de funcionamento de lisímetro de pesagem hidráulica e relação entre evapotranspiração de referência medida e estimada no Agreste Pernambucano*. Recife – Pernambuco, URFPE. Dissertação (Mestrado). 74p. 2004.

SILVA, A. B. *Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos fundamentais*. Campinas, SP: Ed. da UNICAMP, 1999. 236 p.

TUCCI, C. E. M. (Org.). *et al. Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 3ª ed., Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ABRH, 2004. 944 p.

ZOCOLER, J.L.; FRIZZONE, J.A.; VANZELA, L.S. *Eficiência e adequabilidade da irrigação de um equipamento do tipo pivô central*. XXX Congresso brasileiro de Engenharia Agrícola, Foz do Iguaçu. 2001.