

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CAMPUS ITAQUI  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTURA  
(Kc) DO ARROZ POR SENSORIAMENTO REMOTO  
NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO  
ARROIO CAMBAÍ EM ITAQUI RS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Diogo Silveira Kersten**

**Itaqui, RS, Brasil  
2014**

**DIOGO SILVEIRA KERSTEN**

**ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) DO ARROZ  
POR SENSORIAMENTO REMOTO NA MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA DO ARROIO CAMBAÍ EM ITAQUI RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Orientador: Nelson Mario Victoria Bariani

Itaqui, RS, Brasil  
2014

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

K591e Kersten, Diogo Silveira

ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) DO ARROZ POR  
SENSORIAMENTO REMOTO NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO  
CAMBAÍ EM ITAQUI RS / Diogo Silveira Kersten.

38 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, BACHARELADO EM AGRONOMIA, 2014.

"Orientação: Nelson Mario Victoria Bariani".

1. Evapotranspiração. 2. Lavoura orizícola. 3. Uso da água.  
I. Título.

**DIOGO SILVEIRA KERSTEN**

**ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) DO ARROZ  
POR SENSORIAMENTO REMOTO NA MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA DO ARROIO CAMBAÍ EM ITAQUI RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 21 de julho de 2014.  
Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Nelson Mario Victoria Bariani  
Orientador  
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

---

Prof. MSc. José Rodrigo Fernandez Caresani  
Prof. - UERGS

---

MSc. Cassiane Jayj de Melo Victoria Bariani  
PPGCS - UFSM

## **RESUMO**

### **ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTURA ( $K_c$ ) DO ARROZ POR SENSORIAMENTO REMOTO NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CAMBAÍ EM ITAQUI RS**

Autor: Diogo Silveira Kersten

Orientador: Nelson Mario Victoria Bariani

Local e data: Itaqui, 21 de julho de 2014

O município de Itaqui obteve no ano agrícola 2013/14 uma das maiores áreas plantadas de arroz irrigado, representando aproximadamente 10% da produção orizícola do estado do RS. As lavouras de arroz por serem irrigadas por inundação superficial possuem uma eficiência de irrigação em torno de 40%, o que pode levar o agricultor a ter uma oferta hídrica abundante, pois 60% da água inserida na lavoura são perdidas por evaporação e infiltração; o que justifica a importância de conhecer os aspectos qualitativos e quantitativos do uso da água para o desenvolvimento da cultura. Com base em metodologias que usam sensores remotos (meteorológicos e imageadores satelitais) e sistemas de informação geográfica (SIG), é possível estimar a evapotranspiração da cultura, que representa o uso real da água na lavoura, além de ser possível a identificação do estágio inicial da cultura, bem como sua evolução até o final de seu ciclo, em que pode verificar se a cultura está em pleno vigor, através da avaliação in loco de cada imagem. Estas observações podem ser identificadas através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que é um indicador de qualidade de vegetação, com o qual poderá ser estimada a Evapotranspiração real da cultura ( $ET_c$ ), evaporação da água da lavoura somado com a transpiração da cultura, e conseqüentemente calculado seu coeficiente cultural ( $K_c$ ) de cada gleba de avaliação (unidade hídrica controlada), que é o foco em questão deste trabalho. Assim, com as metodologias adotadas usando o NDVI, é possível identificar o ciclo de desenvolvimento da cultura do arroz, a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e seu respectivo  $K_c$ , nas datas avaliadas (datas de passagem do satélite Landsat 8). Os coeficientes culturais encontrados foram o valor de 1.0 para o estágio inicial da cultura, 1.25 para estágio intermediário e 0.6 para o estágio final de desenvolvimento da cultura.

Palavras-chave: Evapotranspiração, lavoura orizícola, uso da água.

## **ABSTRACT**

### **ESTIMATED OF CROP COEFFICIENT (K<sub>c</sub>) OF RICE BY REMOTE SENSING IN THE CATCHMENT OF RIVER CAMBAÍ ITAQUI IN RS**

KERSTEN, Diogo Silveira

BARIANI, Nelson Mario Victoria

Itaqui, July 21, 2014.

The municipality of Itaqui obtained in the agricultural year 2013/14 one of the largest areas planted to rice, representing approximately 10% of the rice production of RS. The rice crops to be irrigated by surface flooding have an irrigation efficiency of around 40%, which may lead the farmer to have an abundant water supply as 60% of water inserted into the crop is lost by evaporation and seepage; which explains the importance of knowing the quality and quantity of water use for crop development aspects. Based on methodologies that use remote sensors (meteorological and satellite imagers) and geographic information systems (GIS), it is possible to estimate the crop evapotranspiration, which is the actual use of water in farming, and is possible to identify the early stage culture and its evolution until the end of your cycle, you can check if the culture is in full force, through on-site evaluation of each image. These observations may be identified through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which is an indicator of quality of vegetation, with which it can be estimated actual crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>), evaporation of water from farming coupled with perspiration of culture and thus its computed crop coefficients (K<sub>c</sub>) for each plant assessment (controlled water unit), which is the focus of this work concerned. So with the methodologies adopted using the NDVI, it is possible to identify the development cycle of the rice crop, the crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) and their respective K<sub>c</sub>, the assessed dates (dates of passage of Landsat 8). The crop coefficients were found the value of 1.0 for the initial stage of culture, 1.25, and 0.6 for intermediate stage to the final stage of crop development.

Keywords: Evapotranspiration, Rice farming, water use.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	14
Figura 2: Recorte da microbacia hidrográfica do arroio Cambaí ilustrando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do dia 25/12/13.....	21
Figura 3: Microbacia hidrográfica do arroio Cambaí, rede de drenagem e áreas orizícolas definidas para o estudo .....	22
Figura 4: Evolução do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para o ciclo do arroz. ....	23
Figura 5: Evolução de Coeficiente da Cultura (Kc) para o período avaliado .....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para cada gleba orizícola (NDVI) .....	32
Tabela 2: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) Mínimo e Máximo para a microbacia do arroio Cambaí .....	23
Tabela 3: Coeficiente da cultura basal da cultura do arroz (Kcb) .....	33
Tabela 4: Fração da cobertura de vegetação ( $f_c$ ) para a cultura do arroz .....	34
Tabela 5: Coeficiente de evaporação (Ke) para a cultura do arroz .....	35
Tabela 6: Evapotranspiração da cultura do arroz (ETc) - Método Dual.....	36
Tabela 7: Coeficiente da Cultura do arroz (Kc) .....	37
Tabela 8: Evapotranspiração de referência (ETo) – calculado pelo ETo <i>Calculator</i> .....	38
Tabela 9 – Índice de Área Foliar (IAF) da cultura do arroz para cada data avaliada .....	25



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5 CONCLUSÕES .....	27
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	28
7 ANEXOS .....	31

# 1 INTRODUÇÃO

A cadeia orizícola vem se tornando uma importante fonte de renda para o setor agrícola brasileiro, pois o arroz é um produto de grande consumo interno e o Rio Grande do Sul por sua vez é o principal estado produtor desta cultura. Ele representa aproximadamente 46% da produção nacional, onde se registra a maior área plantada do país. A expectativa com a colheita é de que atinja os 8,06 milhões de toneladas, representando um incremento de 1,6% (CONAB - 2014).

Com a ascensão da área plantada do arroz, se verifica a importância de ter maior atenção ao cultivo, em especial saber em que condições a lavoura vai evoluindo de estágio para estágio, e o sensoriamento remoto é uma das ferramentas que possibilita a identificação e avaliação de variáveis ambientais sem a necessidade de estar a campo, assim o presente estudo tem como objetivos:

- Definir a microbacia hidrográfica e as glebas (unidade hídrica controlada) para avaliação da evolução orizícola safra 2013/14;
- Encontrar resultados da evolução da lavoura de arroz (Kc real) para safra 2013/14 utilizando técnicas de sensoriamento remoto;
- Avaliar a evolução da lavoura desde o plantio até a colheita, na microbacia do município de Itaqui RS. Essa identificação será realizada através de imagens e gráficos.

As avaliações de variáveis ambientais contribuem para o diagnóstico da área em estudo, com ênfase nas áreas de várzea orizícolas, em que tem como objetivo a delimitação de áreas para uma finalidade específica, que é a identificação da evapotranspiração real da cultura do arroz, baseada em características ambientais contidas na base de dados da estação meteorológica como a umidade relativa do ar, a velocidade do vento, a radiação solar, que será possível encontrar a ETo, onde estes dados servirão de base para o cálculo da ETc real da cultura do arroz.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento foi determinada pela Lei 9.433/97, que definiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos. Ainda na elaboração desta lei foram considerados princípios para a gestão dos recursos hídricos, dentre os quais se tem a consideração dos usos múltiplos da água, o reconhecimento da água como um bem finito e vulnerável, o reconhecimento do seu valor econômico dentre outros.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), um dos usos mais abundantes da água, é destinado para a irrigação, que representa aproximadamente 68% no Brasil, onde se encontra a produção primária do País com destaque para os cereais de verão que são o cultivo do arroz, milho, sorgo, soja etc.

A agricultura irrigada por aspersão hoje no estado do RS possui 100 mil hectares – somando com a produção de arroz, que possui toda área irrigada no sistema de inundação, com mais de 1 milhão de hectares, isto demonstra a importância de estudos voltados para área de irrigação por inundação no Rio Grande do Sul, (SAPA-RS, 2012).

Dentre os municípios de maiores produções para o cultivo do arroz, pode ser citado Itaqui RS, localizado na fronteira oeste do RS, que obteve no ano agrícola 2013/14 uma área plantada de 97.030 hectares e uma produção de 718.992,30 ton. do grão (IRGA, 2014), estes dados representam aproximadamente 10% da produção do estado do RS.

Com base nestes dados, há o interesse em realizar um estudo para estimar a evapotranspiração real da cultura do arroz, no município de Itaqui, mais especificamente em glebas orizícolas na microbacia hidrográfica do arroio Cambaí.

A evapotranspiração é a soma da evaporação da água do solo com transpiração das plantas que ocorrem simultaneamente. A evaporação de um solo é determinada principalmente pela fração da radiação solar que atinge a superfície do solo, e esta fração diminui ao longo do período de crescimento da cultura, pois o dossel da cultura aumenta à medida que vai se desenvolvendo, uma vez que a cultura está bem desenvolvida e cobre completamente o solo, a transpiração torna-se o principal processo de transferência de água para a atmosfera, (Allen, 1998).

Há vários métodos para a determinação direta como indireta da evapotranspiração da cultura, assim como as variáveis a serem consideradas na seleção destes métodos. Um dos principais fatores a considerar é a fonte de água a ser utilizado pelo vegetal, se precipitação ou irrigação. Os métodos mais utilizados são: lisímetros, parcelas experimentais no campo, evaporímetros, método de Hargreaves etc. (Bernardo, 2005).

Estimativas de evapotranspiração da superfície terrestre (ET) podem também ser obtidas utilizando dados de sensoriamento remoto, que são fundamentais no planejamento efetivo do uso da água de irrigação, em especial ao aumento da demanda de água relacionada com a evolução das culturas irrigadas por inundação. Há, portanto, uma necessidade crucial para desenvolver ferramentas para uma melhor gestão do uso da água de irrigação por meio de estimativas precisas da necessidade hídrica da cultura (ET<sub>c</sub>) em uma escala regional, (Raki et al, 2010).

O sensoriamento remoto constitui-se em ferramenta promissora para estudos hidrológicos, em nível de parcela agrícola o que atrai o interesse de sistemas de monitoramento e gestão da água e agências reguladoras, se mostrando uma boa alternativa para regular o uso da água (Allen et al., 2005; Allen et al., 2007; Folhes et al., 2009).

Atualmente, o avanço no processamento de imagens de satélite em caráter operacional tem produzido meios de desenvolver mapas de ET com boa precisão e de baixo custo, se mostrando um método eficiente em estudos para avaliação dos direitos de uso da água (Bastiaanssen et al., 2005; Allen et al., 2007, Droogers et al., 2010).

A evapotranspiração da cultura está diretamente relacionada ao índice de área foliar (IAF), em que o IAF é uma variável adimensional definido por Watson (1947), como a área unilateral total de um tecido fotossintético ativo por unidade de superfície do solo. IAF é uma variável fundamental na modelagem de muitos processos hidrológicos, como a transpiração, evaporação e interceptação da precipitação pela vegetação.

Os métodos na determinação do IAF entram em duas categorias: medidas diretas e indiretas. Embora os métodos anteriores, com base em uma medida direta da área da folha, são os mais precisos, eles têm a desvantagem de ser altamente consumidores de tempo e, por conseguinte, praticamente não compatível com o

acompanhamento da variação da área foliar em tempo e espaço, em especial em grandes áreas, (Jonckheere, 2004).

O IAF depende do estágio de desenvolvimento da cultura, que está associado ao coeficiente de cultura ( $K_c$ ), que é a razão entre  $ET_c$  pela  $ET_o$ , (Doorenbus, 1977), e representa uma integração dos efeitos das principais características que distinguem a cultura a partir da  $ET_o$  de referência. Estas características são a altura das culturas (que afeta a rugosidade e resistência aerodinâmica); resistência superficial solo-lavoura (afetada pela área foliar, a fração de terreno coberto por vegetação, idade da folha, e superfície de umidade do solo); e albedo da superfície solo-lavoura (afetada pela fração do solo coberto pela vegetação e pela superfície de umidade do solo), (Allen, 2000).

A condição temporal do  $K_c$  para cada cultura irrigada constitui a evolução da cultura em que, idealmente, a  $ET_o$  deveria caracterizar a demanda evaporativa determinada pela condição meteorológica, enquanto o  $K_c$  seria a medida da restrição imposta pelo sistema solo-planta-atmosfera para atender a tal demanda hídrica, (Sediyama et al., 1998).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### Área de estudo

Localizado na fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, o município de Itaqui possui uma área de 3.404,037 km<sup>2</sup>, está inserido no Bioma Pampa, e possui grandes áreas de várzeas em seu território, o que propicia o cultivo da cultura de arroz no município. Para estudo deste trabalho foi definida a microbacia hidrográfica do arroio Cambaí localizado próximo à área urbana, e possui áreas orizícolas que podem ser monitoradas através das imagens do satélite Landsat 8. Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

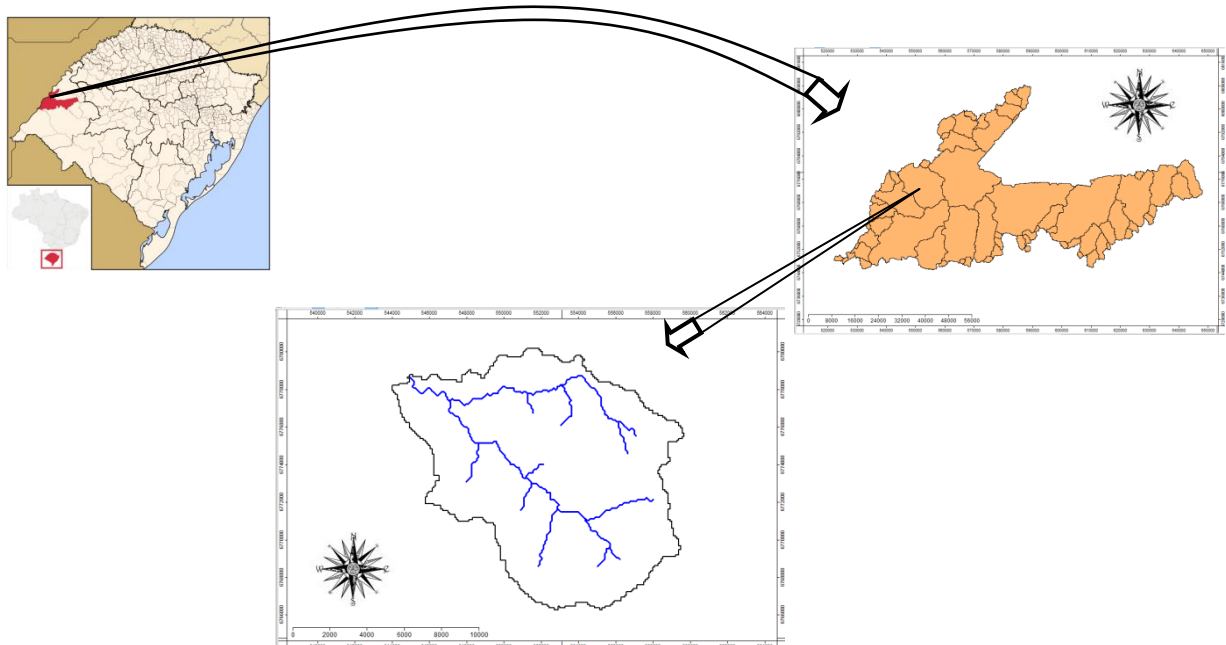


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

#### MATERIAL

##### Produtos e Dados de Superfície e de Sensores Remotos

O presente estudo utilizou dados meteorológicos coletados pela estação oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de São Borja RS, estação

A830, localizada sobre as coordenadas - 28.6494° de Latitude e - 56.0156° de Longitude. Os dados meteorológicos são necessários na determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), que requer valores diários de radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

Para a formação do banco de dados no estudo, foram utilizadas imagens orbitais do satélite Landsat 8, por cobrir toda a área de estudo e por estar disponível gratuitamente para download, as quais podem ser utilizadas em pesquisas acadêmicas e profissionais. As imagens do satélite Landsat 8 possuem uma resolução espacial de 30m x 30m, e que já estão georreferenciadas e tem uma resolução temporal de 16 dias, adquiridas através do site USGS disponível em <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>>.

Foi realizada uma pesquisa de imagens para a região de interesse e selecionadas as imagens com menor índice de nuvens, pois as nuvens interferem na qualidade da interpretação dos dados. As datas de interesse para a evolução agrícola safra 2013/14, foram: 19/08/13 – 04/09/13 – 07/11/13 – 23/11/13 – 25/12/13 – 11/02/14 – 16/04/14, localização de sua órbita = 224 e ponto = 080 da imagem.

Para a identificação e elaboração dos mapas das microbacias e rede de drenagem da área de interesse, foram necessárias às imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponibilizadas no site da Embrapa Monitoramento por Satélite, Miranda (2005), em que foi conferida a necessidade de download das seguintes imagens: (SH-21-X-A, SH-21-X-B, SH-21-X-C, SH-21-X-D), com estas imagens efetuou-se o mosaico, para que cobrisse toda área de interesse do município em questão.

## **Software usado para processamento das imagens**

- **SAGA GIS 2.08**

O SAGA é um Sistema de Informação Geográfica (SIG), que sua abreviação significa Sistema de Análise Geocientífica Automática, originalmente foi desenvolvido na Universidade de Goettingen, na Alemanha. Está escrito na linguagem de programação C ++; é um software livre de código aberto (FOSS). Disponível para download em <<http://www.saga-gis.org/en/index.html>>.

Este foi utilizado para realizar as análises interativas das imagens do satélite Landsat 8, e gerar os mapas temáticos.

- **ETo calculator v. 3.2**

*ETo calculator* é um software desenvolvido pela Divisão de Águas e da Terra da FAO, e sua principal função é calcular a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), de acordo com os padrões da FAO. O ETo calculator avalia a ET<sub>o</sub> a partir de dados meteorológicos por meio da equação de Penman-Monteith FAO. Este método foi escolhido pela FAO como referência porque se aproxima da evapotranspiração da vegetação no local avaliado, onde se baseia fisicamente, e explicitamente incorporam ambos os parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos.

## **METODOLOGIA**

Com os dados climatológicos da estação meteorológica do INMET São Borja RS, foi possível calcular, com o software ETo calculator, a evapotranspiração de referência para o período de março de 2013 a maio de 2014, em que os dados servirão de base para o cálculo da evapotranspiração real (ET<sub>c</sub>) da cultura do arroz.

No software SAGA GIS para ser trabalhado com as imagens do satélite Landsat 8, foi definido o datum de referência, que foi o WGS 84, no formato *Universal Transversa de Mercator* (UTM), que utiliza um sistema de coordenadas cartesianas bidimensionais para dar a localização na superfície do local de estudo. Situado no fuso 21j, em que está inserido o município de Itaqui RS.

Foram importadas para o SAGA GIS as imagens Landsat 8, nas datas selecionadas com as bandas de interesse, sendo:

- Banda 4 - Vermelho Visível (0.64 - 0.67  $\mu\text{m}$ ) 30 m;
- Banda 5 - Infravermelho Próximo (0.85 - 0.88  $\mu\text{m}$ ) 30 m.

Após a importação das imagens, foram selecionadas as bandas do vermelho visível (Banda 4) e a banda do infravermelho próximo (Banda 5), que são as bandas utilizadas para formação da série temporal de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que através da interação destas duas bandas será possível identificar visualmente as áreas orizícolas em desenvolvimento.



## Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI

O NDVI é um índice de vegetação sensível à quantidade e qualidade de vegetação verde, além do conteúdo de clorofila e, em menor escala, ao estresse hídrico cultural sendo calculado pela seguinte Equação 1 - de Tucker (1979):

$$\text{NDVI} = \left( \frac{(\rho_{\text{nir}} - \rho_{\text{red}})}{(\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{red}})} \right) \quad (\text{Eq1})$$

Onde  $P_{\text{nir}}$  é a refletância do infravermelho próximo, representado pela banda 5 do satélite Landsat 8, o  $P_{\text{red}}$  representa a refletância do vermelho visível que representa a banda 4 do satélite em questão.

O índice de vegetação está relacionado à produtividade primária da planta, o que está estritamente dependente da disponibilidade hídrica do sistema ao longo do ciclo cultural.

Além das avaliações hídricas e condições climáticas das culturas, houve a necessidade de identificar dados satelitais, onde uma série temporal de 7 imagens de média resolução espacial, encontradas através das imagens disponibilizadas do satélite Landsat 8, foram adquiridas durante o período de plantio, crescimento e maturação da cultura do arroz no município de Itaqui RS.

De posse das imagens teve-se a necessidade de extrair somente a área de interesse, neste caso o limite municipal de Itaqui RS, para avaliação e medições necessárias. Este limite foi estabelecido pelo site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em que as imagens satelitais foram recortadas usando o limite municipal (*shapfile*), tendo assim a imagem do limite municipal.

Após obter a imagem municipal de interesse, com as bandas 4 e 5, estas tiveram de ser transformadas em refletância, forma em que é efetuado os cálculos do NDVI das bandas, este procedimento foi elaborado com base nos dados disponibilizados no arquivo, (forma .txt) encontrado na pasta em que se realizou o download das cenas de interesse, e calculado pela fórmula de conversão em refletância usando dados satelitais do satélite Landsat 8 disponível no site <[http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php)>. Tendo a refletância de cada imagem, foi possível transformá-las para imagens de NDVI.

Com os valores de NDVI de cada imagem, percebeu-se a necessidade de realizar a normalização dos valores de índice de vegetação, estes devem ficar entre zero e um, para possibilitar a identificação dos valores em cada gleba agrícola. O índice de vegetação por diferença normalizada foi realizado para toda microbacia do arroio Cambaí, porém a avaliação foi realizada para cada gleba de arroz, para sim encontrar os valores máximos e mínimos de NDVI, os valores máximos representam uma vegetação densa e saudável e os valores mínimos representam uma vegetação baixa, esparsa ou mesmo um solo sem vegetação, para com esses procedimentos poder calcular a evapotranspiração real da cultura para cada dia de observação de passagem do satélite.

Com os valores de NDVI calculados de toda área de estudo, houve a necessidade de realizar as observações em cada gleba orizícola, onde foi anotado manualmente em planilha, os valores de NDVI médio que serviram de base para realizar os cálculos de evapotranspiração.

### **Descrição do Modelo para extração do ET<sub>c</sub> e K<sub>c</sub> da cultura do arroz**

O modelo utilizado neste estudo é o coeficiente *dual crop* da FAO-56 desenvolvido por (Allen et al 1998). Este modelo descreve a relação entre a evapotranspiração da cultura sob condições ideais padrão (ET<sub>c</sub>) e a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), separando coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) para o coeficiente de cultura basal (K<sub>cb</sub>) e o coeficiente de evaporação da água do solo (K<sub>e</sub>), que pode ser calculada pela equação 2:

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) * ET_o \quad (\text{Eq2})$$

Onde ET<sub>o</sub> é calculado pela equação de Penman-Monteith FAO (Equação 6 em FAO-56). Com o objetivo de integrar os dados de sensoriamento remoto no modelo FAO, os parâmetros de (K<sub>cb</sub> e K<sub>e</sub>) para a equação 2, foram obtidos a partir dos cálculos de NDVI, realizados a partir da interação da refletância das imagens orbitais banda 4 (vermelho) e banda 5 (infravermelho), encontradas a partir da equação 3 –(cálculo K<sub>cb</sub>) e equação 4 –(cálculo K<sub>e</sub>), respectivamente.

$$K_{cb} = 1.15 \left[ 1 - \left( \frac{NDVI_{\max} - NDVI}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right)^{\frac{0.84}{0.54}} \right] \quad (\text{Eq3})$$

$$K_e = 0.25 * (1 - f_c) \quad (\text{Eq4})$$

Em que  $NDVI_{\min}$  e  $NDVI_{\max}$  são os valores mínimos e valores máximos de NDVI associado com solo exposto e vegetação densa, respectivamente.  $f_c$  é a fração da cobertura de vegetação, dada pela equação 5, onde o valor de ajuste 1.15 foi extraído da planilha FAO 56 para o Kcb médio do arroz.

$$f_c = 1.18 * (NDVI - NDVI_{\min}) \quad (\text{Eq5})$$

Na Equação 4 é ilustrada a forma para explicar o fato de que a evaporação do solo ocorre predominantemente a partir do solo exposto. O coeficiente de evaporação do solo ( $K_e$ ) é claramente correlacionado com  $(1-f_c)$ . Essa equação mostrou que  $K_e$  diminui com o desenvolvimento da cultura (aumento da fração de cobertura do solo,  $f_c$ ) e torna-se insignificante quando a cultura está bem desenvolvida e cobre completamente o solo ( $f_c = 1$ ). A relação entre  $K_e$  e  $(1-f_c)$  também é modulada com o valor de 0,25. O valor 0,25 foi determinado, com base na frequência observada de abastecimento de água ( $\approx 10$  dias) com um valor médio da  $ET_o$  (4 mm / dia) durante a estação de crescimento. *Metodologia adaptada de Raki et al (2010).*

Com base nos valores obtidos para  $K_{cb}$  e  $K_c$ , pode ser encontrado o índice de área foliar, que é um dos fatores a ser avaliado, pois o índice de área foliar é definido como a área de folhas por unidade de área de superfície do solo subjacente, calculados sobre uma grande área quando utilizado por sensoriamento remoto, em que apenas um dos lados das folhas é avaliado, conforme equação 6.

$$LAI = -1.4 \ln \left[ 1 - \frac{K_{cb} - K_{c \min}}{K_{cb \text{ full}} - K_{c \min}} \right] \quad (\text{Eq6})$$

Onde:

LAI - significa (*Leaf area index*), índice de área foliar

K<sub>cb</sub> - coeficiente da cultura basal

K<sub>c min</sub> - coeficiente da cultura mínimo

K<sub>cb full</sub> - coeficiente da cultura basal máximo

O estágio de desenvolvimento da cultura está associado ao coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), que é a razão entre E<sub>Tc</sub> pela E<sub>To</sub>, segundo Doorenbus (1977), e representa uma integração dos efeitos das principais características que distinguem a cultura da E<sub>To</sub> de referência.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A lavoura orizícola tem em média um ciclo de 120 dias que tem início em novembro e término em fevereiro (\*dependendo do cultivo e variedade), segundo EMBRAPA (2005). Com base nestas informações, a busca pelas imagens orbitais em um tempo maior em dias que compreendeu de 19/08/13 à 16/04/2014, foi importante para garantir que todas as lavouras tivessem iniciado e terminado seu ciclo dentro do período avaliado.

Com o software SAGA GIS 2.08 foram realizadas as interações com as bandas do infravermelho e vermelho, para cada data definida para avaliação, estas imagens tiveram de ser convertidas para refletância do infravermelho e refletância do vermelho para serem inseridas na fórmula do NDVI (equação 1).

Um exemplo desta interação de bandas pode ser visto na figura 2, (recorte da imagem Landsat – limite da microbacia do arroio Cambaí) para a data de 25/12/13.

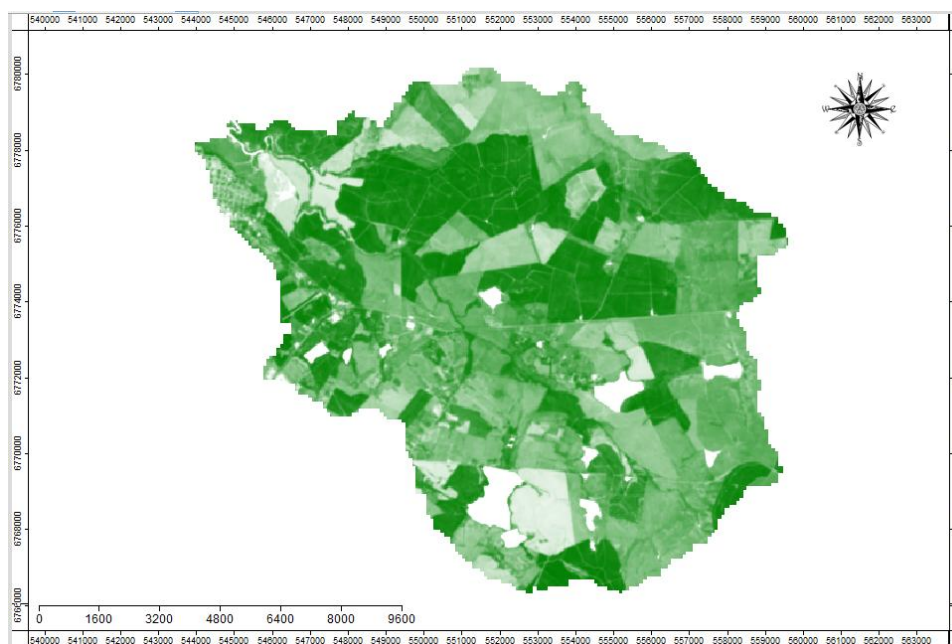


Figura 2 – Recorte da microbacia hidrográfica do arroio Cambaí, ilustrando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do dia 25/12/13.

A área agrícola da microbacia do arroio Cambaí definida para o estudo do ciclo da lavoura orizícola, somou uma área total de 963,63 ha, com quarenta e duas glebas identificadas, e a área total da microbacia hidrográfica totalizou 13.884,26 ha,

pelas avaliações realizadas com o SAGA GIS 2.08, em que podem ser visualizadas na figura 3.

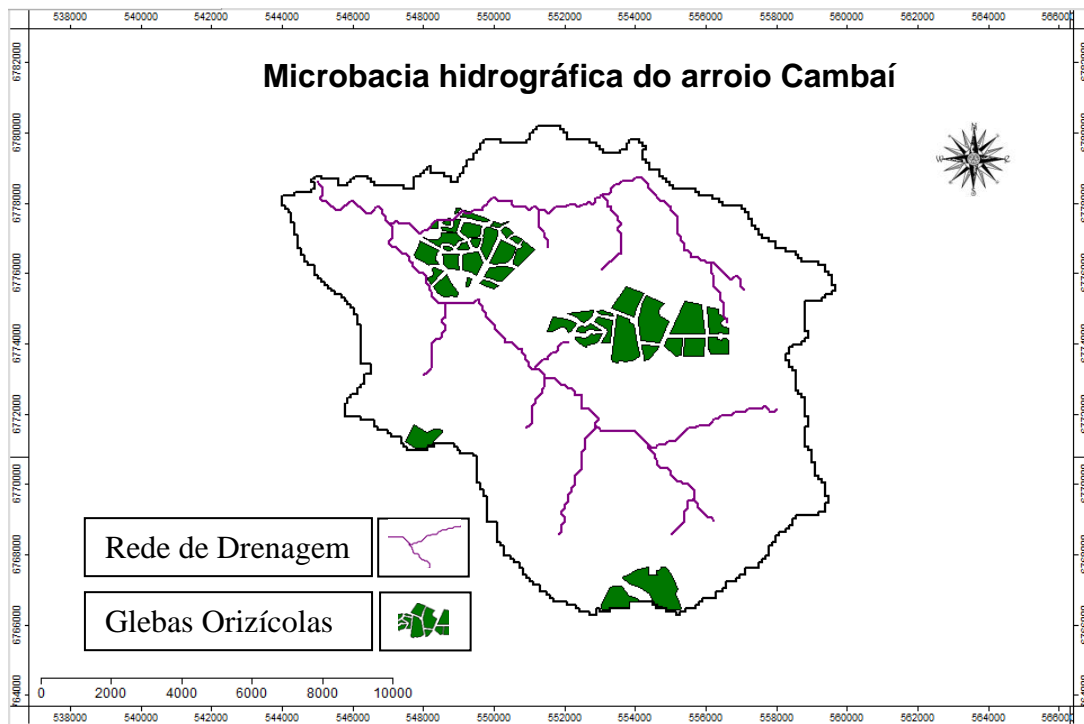


Figura 3 - Microbacia hidrográfica do arroio Cambaí, rede de drenagem e áreas orizícolas definidas para o estudo.

A classificação e identificação das lavouras orizícolas foi realizada de acordo com o comportamento espectral de cada gleba agrícola, que cautelosamente foram separadas das áreas não orizícolas.

Os valores de NDVI individualizado por gleba podem ser visualizados na tabela 1 em anexo.

A partir da interação das bandas espectrais, com a base de dados gerados na tabela 1, foi possível elaborar um gráfico que representa o comportamento do índice de vegetação para cada gleba orizícola no perfil multitemporal.

Observa-se que o comportamento inicial do NDVI fica em torno de 0,5 e vai aumentando na medida que a cultura vai evoluindo seu estágio vegetativo para valores próximos de 1, e retorna a diminuir quando a planta vai chegando em seu estágio de maturação do grão, com valores próximos de 0,5, em que o índice de área foliar vai reduzindo, devido à senescência natural das folhas (Figura 4).

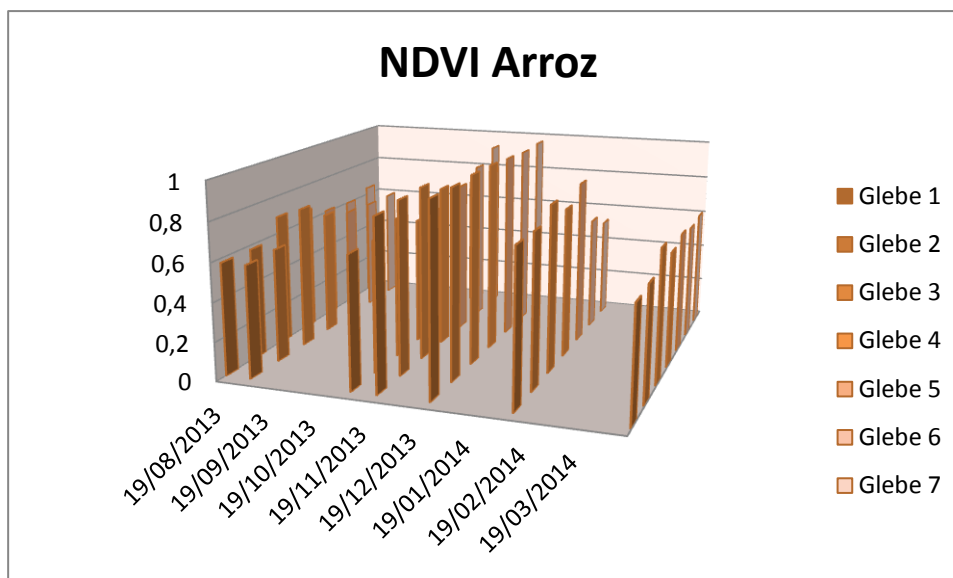


Figura 4 – Evolução do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para ciclo o do arroz.

Os valores máximos e mínimos de NDVI são a base para realização dos cálculos para obtenção do Kcb, Ke, fc, ETc e o respectivo coeficiente da cultura para cada data de avaliação. Na Tabela 2 podem ser observados os valores de NDVI para cada data na microbacia do arroio Cambaí.

Tabela 2 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) mínimo e máximo para a microbacia do arroio Cambaí

Date	NDVimin	NDVimax
19/08/2013	0,417093	0,966441
04/09/2013	0,409813	0,960842
07/11/2013	0,468137	0,975263
23/11/2013	0,448179	1
25/12/2013	0,474079	1
11/02/2014	0,502581	1
16/04/2014	0,384133	1

Os menores valores da tabela 2, como 0,384133 ilustram a ausência de vegetação, ou uma vegetação mais baixa e esparsa, e os valores maiores, neste caso o número 1, representa a vegetação densa e vigorosa.

Para calcular o coeficiente da cultura basal ( $K_{cb}$ ), foi aplicada à equação 3 em que utiliza os dados de NDVI máximo e mínimo e os fatores de ajuste, os valores encontrados para a microbacia em questão podem ser visualizados na tabela 3 em anexo.

Após ter calculado o  $K_{cb}$  é iniciado o procedimento de cálculo do  $f_c$ , que é a fração da cobertura de vegetação, dada pela equação 5. Os valores encontrados podem ser visualizados na tabela 4 em anexo.

Para o cálculo do coeficiente de evaporação  $K_e$ , aplicou-se à equação 4 em que se empregou a fração da cobertura de vegetação e os valores de ajuste para esta situação, ver tabela 5 em anexo.

Pelo método de dual  $K_c$  em que se utiliza o  $K_{cb}$  e o  $K_e$  para encontrar a  $E_{Tc}$ , a estimativa de melhor acurácia para os dados pode ser relevante, comparado com o método de  $K_c$  simples, que utiliza apenas o coeficiente de cultura para o cálculo da  $E_{Tc}$ , assim este trabalho adotou o método dual o qual foi utilizado o  $K_{cb}$  e o  $K_e$  para encontrar a  $E_{Tc}$ , que pode ser visualizado na tabela 6 em anexo.

Um exemplo de dados gerados a partir da tabela 7 é o gráfico construído a partir dos dados obtidos do  $K_c$ , calculados pela equação de Doorenbus (1977),  $K_c = E_{Tc}/E_{To}$ , ver Figura 5, para o ciclo do arroz nas datas definidas pelo trabalho, onde os valores de  $E_{To}$  foram calculados com o software “ $E_{To}$  calculator” que pode ser visualizado na tabela 8 em anexo.

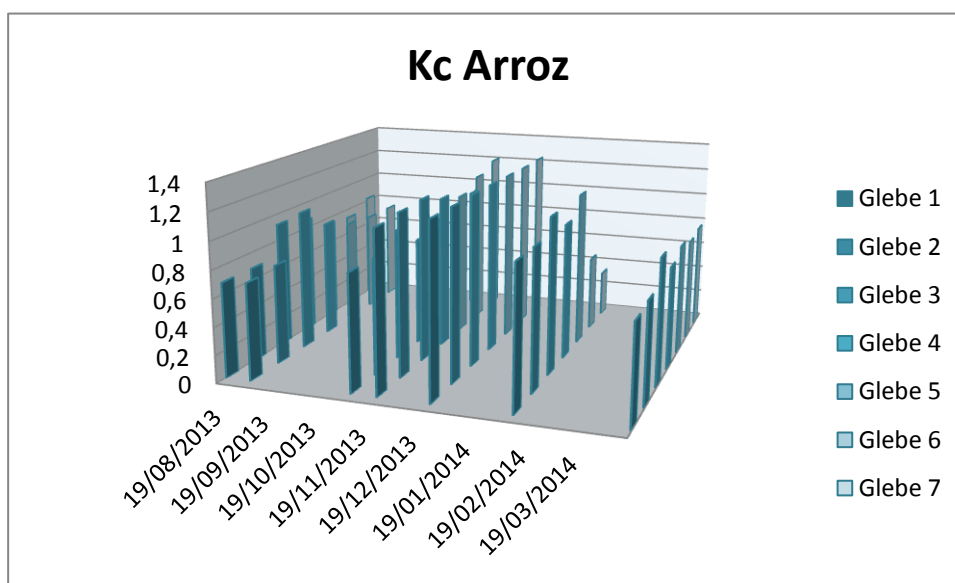


Figura 5 – Evolução do Coeficiente da Cultura ( $K_c$ ) para o período avaliado.



Na figura 5 pode se observar que o comportamento do coeficiente da cultura ficou semelhante à evolução do NDVI, porém com valores diferentes. Ilustrando um Kc inicial próximo do 0,6 ascendendo na medida em que a cultura foi crescendo para um valor de 1,25 e descendendo seu valor de Kc para o final do ciclo, que está próximo de 0,6 que é o final do ciclo, ou maturação do grão da lavoura orizícola.

Esses valores devem ser validados na próxima safra, na expectativa que o comportamento das glebas seja semelhante. O capítulo 6 da FAO 56 descreve os comportamentos da ETc de várias culturas, bem como seus respectivos Kc, comparando os dados da tabela 12 da FAO, que define o Kc inicial para a cultura do arroz o valor de 1,05, para o Kc médio de 1,20 e Kc final de 0,90-0,60.

Os valores encontrados neste trabalho são próximos dos dados da FAO 56, pois foi encontrado um Kc inicial de 0,6, Kc médio de 1,25, e um Kc final de 0,6. Desta forma percebeu-se a necessidade de buscar informações complementares, para comprovar a veracidade dos dados encontrados pelo NDVI. Então se optou pelo cálculo do índice de área foliar (IAF), viabilizado através da equação 6.

Com base na equação 6 calculou-se o IAF para cada data de passagem do satélite, os quais foram encontrados os seguintes valores, ilustrada na tabela 9.

Tabela 9 – Índice de Área Foliar (IAF) médio da cultura do arroz para cada data avaliada

	19/08/2013	04/09/2013	07/11/2013	23/11/2013	25/12/2013	11/02/2014	16/04/2014
IAF	-0,35265416	-0,5485253	-0,1430853	1,70066182	5,097696696	0,10559974	-1,0446624

A tabela 9 demonstra que foram obtidos valores negativos de 19 de agosto a 07 de novembro de 2013, o que pode ilustrar a ausência de vegetação, ou melhor, neste período a cultura do arroz não dava sinais de semeadura, e a partir de novembro observa-se a existência de um IAF positivo na data de 23/11/2013, nesta data a cultura já estava em desenvolvimento, onde se observou um IAF de 1,7 aproximadamente. No dia de 25/12/2013 a lavoura orizícola atingiu seu pico máximo de desenvolvimento pela avaliação calculada, tendo um valor de IAF de 5,09, e a partir desta data seu índice de área foliar foi reduzindo até fevereiro de 2014 com um IAF de 0,1, ilustrando com este valor que a lavoura de arroz já está em seu ciclo final de maturação.

Assim pode-se observar, com os dados adquiridos e calculados, que o ciclo da cultura do arroz para as glebas observadas iniciaram no período de outubro a novembro de 2013, e terminaram entre os meses de janeiro a fevereiro de 2014. Após estas datas foram encontrados valores negativos novamente, exemplificado na data de 16/04/2014, o que se pode concluir que nesta data não havia mais vegetação nas glebas selecionadas para o estudo, desta forma, provavelmente a colheita do arroz já estaria concluída.

## 5 CONCLUSÕES

Assim, com a série temporal das imagens orbitais do satélite Landsat 8 é possível identificar a evapotranspiração da cultura, bem como seu respectivo  $K_c$ , que através destas variáveis pode ser estimada a lâmina de irrigação mais adequada para dado estágio fenológico da cultura, neste caso a cultura do arroz.

Este trabalho de conclusão de curso deve ser um início de estudo, para uma plena compreensão das variáveis ambientais, que devem ser cada vez mais estudadas, em especial ao cultivo do arroz irrigado por inundação, pois é a principal cultura agrícola do município de Itaqui. Além disso, fica claro que esta metodologia pode ser adaptada para a classificação do desenvolvimento de novas culturas agrícolas, utilizando como base o índice de vegetação por diferença normalizada.

Os dados de NDVI possibilitaram a obtenção das variáveis de interesse, tais como a evapotranspiração real da cultura do arroz, bem como a identificação do seu respectivo coeficiente da cultura para os dias de imageamento satelital. Estes dados numéricos são a base para uma melhor compreensão do uso real da água na lavoura orizícola, neste caso para as unidades hídricas controladas na microbacia hidrográfica do arroio Cambaí – Itaqui/RS.

Porém o fato de que o satélite Landsat 8 tem uma resolução temporal de 16 dias, não o torna um bom indicador para quantificar diariamente a demanda evapotranspirativa da cultura do arroz, no entanto este trabalho é o início para uma melhor compreensão dos fatores ambientais, bem como dos fatores matemáticos e de programação, para sim poder dar continuidade na pesquisa e conseguir contribuir de maneira mais eficiente para o sistema agrícola arrozeiro.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, Agência Nacional de Águas. Disponível em <[http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AguasBrasil/AguasBrasil18\\_21062010.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AguasBrasil/AguasBrasil18_21062010.pdf)> Acesso em 25 de julho de 2014.

ALLEN, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements; FAO **Irrigation and Drainage Paper 56**; FAO: Rome, Italy, 1998; p. 300.

ALLEN, R.G.; Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. **Journal of Hydrology** 229 (2000) 27–41p.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 4, p. 380-394, 2007a.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; MORSE, A.; TREZZA, R.; WRIGHT, J.L.; BASTIAANSEN, W.; KRAMBER, W.; LORITE, I.; ROBISON, C.W. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 4, p. 395-406, 2007b.

BASTIAANSEN, W.G.M.; NOORDMAN, E.J.M.; PELGRUM, H.; DAVIDS, G.; ALLEN, R.G. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, n. 1, p. 85-93, 2005.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.; **Manual de Irrigação**. 7° ed. Viçosa MG: Ed. UFV, 2005

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Lei n. 9.433**: Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: **Conab**, Acomp. safra bras. grãos, v. 1 - Safra 2013/14, n. 9 - Nono Levantamento, jun. 2014. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 14 de junho de 2014.

DOORENBUS J. and Pruitt W.O (1977). Guide lines for predicting Crop water requirements. **Irrigation and Drainage paper**, FAO: Vol. 24:1-81 .

DROOGERS, P.; IMMERZEEL, W.W.; LORITE, I.J. Estimating actual irrigation application by remotely sensed evapotranspiration observations. **Agricultural Water management**, v. 97, p. 1351-1359, 2010.

EMBRAPA - Clima Temperado Sistemas de Produção, 3. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. ISSN 1806-9207 Versão Eletrônica, Nov./2005.

FOLHES, M. T.; RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Remote sensing for irrigation water management in the semi-arid Northeast of Brazil. **Agricultural Water Management**, v.96, p.1398-1408, 2009.

IRGA, **Instituto Riograndense do Arroz**. Disponível em <<http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>>. Acesso em 25 junho 2014.

JONCKHEERE I., FLECK S., NACKAERTS K., MUYS B., COPPIN, P., WEISS, M., BARET, F. REVIEW of methods for in-situ leaf area index determination Part I. **Theories, sensors and hemispherical photography**. Agric. Forest. Meteorol., 2004, 121, 19-35.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 28 jun. 2014.

ROCHA, J.S.M. & KURTZ, S.M. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4ed. Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM, 2001. 181p.

RAKI, Salah Er-,CHEHBOUNI, Abdelghani and DUCHEMIN Benoit. Article Combining Satellite Remote Sensing Data with the FAO-56 Dual Approach for Water Use Mapping In Irrigated Wheat Fields of a Semi-Arid Region. **Remote Sensing**. 2010, 2, 375-387; doi:10.3390/rs2010375.

SAPA. **Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio do Estado do Rio Grande do Sul**. Publicação 14/11/2012.

SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. Relação clima - água - planta. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 27, 1998, Poços de Caldas. Anais... Poços de Caldas, MG: UFLA/SBEA, 1998. p. 46-116.

TUCKER, C.J., Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, 1979, p. 127–150.

WATSON D.J. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Ann. Bot.**, 1947, 11, 41-76

**ANEXOS**

TABELA 1 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para cada gleba orizícola (NDVI).

Crop	19/08/2013	04/09/2013	07/11/2013	23/11/2013	25/12/2013	11/02/2014	16/04/2014
Gleba 1	0,58	0,58	0,68	0,87	0,97	0,79	0,58
Gleba 2	0,58	0,59	0,68	0,89	0,97	0,79	0,59
Gleba 3	0,69	0,74	0,73	0,9	0,98	0,86	0,69
Gleba 4	0,66	0,65	0,66	0,84	0,98	0,78	0,6
Gleba 5	0,61	0,61	0,66	0,8	0,97	0,86	0,63
Gleba 6	0,6	0,6	0,65	0,86	0,96	0,6	0,6
Gleba 7	0,64	0,6	0,72	0,93	0,97	0,53	0,61
Gleba 8	0,65	0,6	0,69	0,93	0,97	0,51	0,59
Gleba 9	0,6	0,58	0,69	0,9	0,97	0,78	0,59
Gleba 10	0,6	0,6	0,66	0,9	0,96	0,75	0,58
Gleba 11	0,79	0,61	0,61	0,72	0,98	0,87	0,67
Gleba 12	0,58	0,59	0,66	0,91	0,96	0,79	0,59
Gleba 13	0,58	0,59	0,68	0,92	0,97	0,8	0,59
Gleba 14	0,57	0,57	0,67	0,93	0,97	0,79	0,59
Gleba 15	0,58	0,58	0,65	0,86	0,97	0,79	0,59
Gleba 16	0,59	0,58	0,68	0,88	0,98	0,79	0,6
Gleba 17	0,6	0,59	0,68	0,87	0,97	0,65	0,61
Gleba 18	0,62	0,6	0,7	0,88	0,96	0,68	0,6
Gleba 19	0,64	0,61	0,69	0,92	0,96	0,68	0,61
Gleba 20	0,61	0,59	0,66	0,91	0,96	0,51	0,58
Gleba 21	0,71	0,61	0,7	0,94	0,96	0,52	0,57
Gleba 22	0,6	0,59	0,64	0,83	0,94	0,65	0,59
Gleba 23	0,6	0,6	0,66	0,87	0,95	0,54	0,59
Gleba 24	0,61	0,62	0,7	0,9	0,96	0,58	0,61
Gleba 25	0,64	0,61	0,61	0,72	0,95	0,95	0,6
Gleba 26	0,63	0,61	0,7	0,79	0,95	0,91	0,61
Gleba 27	0,62	0,61	0,65	0,8	0,97	0,93	0,62
Gleba 28	0,65	0,69	0,74	0,93	0,96	0,57	0,58
Gleba 29	0,6	0,61	0,67	0,91	0,96	0,7	0,6
Gleba 30	0,58	0,58	0,68	0,8	0,95	0,77	0,59
Gleba 31	0,58	0,58	0,68	0,82	0,96	0,78	0,59
Gleba 32	0,58	0,57	0,76	0,96	0,96	0,76	0,59
Gleba 33	0,57	0,57	0,77	0,97	0,96	0,74	0,58
Gleba 34	0,58	0,57	0,8	0,97	0,97	0,75	0,58
Gleba 35	0,57	0,58	0,64	0,93	0,96	0,5	0,57
Gleba 36	0,62	0,64	0,69	0,92	0,95	0,76	0,59
Gleba 37	0,62	0,6	0,65	0,77	0,96	0,93	0,62
Gleba 38	0,62	0,61	0,63	0,78	0,96	0,94	0,61
Gleba 39	0,69	0,66	0,65	0,77	0,94	0,93	0,63
Gleba 40	0,6	0,58	0,59	0,84	0,93	0,67	0,58
Gleba 41	0,64	0,6	0,58	0,64	0,96	0,9	0,59
Gleba 42	0,67	0,6	0,62	0,66	0,98	0,93	0,6



TABELA 3 – Coeficiente da cultura basal da cultura do arroz (Kcb)

Crop	19/08/2013	04/09/2013	07/11/2013	23/11/2013	25/12/2013	11/02/2014	16/04/2014
Gleba 1	0,484628176	0,50264776	0,65422207	1,02865142	1,136637153	0,84929718	0,51597563
Gleba 2	0,484628176	0,52889536	0,65422207	1,05642106	1,136637153	0,84929718	0,53930216
Gleba 3	0,75485087	0,8726693	0,77851165	1,06931562	1,142888205	0,98996397	0,7546812
Gleba 4	0,686165067	0,67801015	0,60100994	0,98238632	1,142888205	0,82673031	0,56231471
Gleba 5	0,563225357	0,58021483	0,60100994	0,91283075	1,136637153	0,98996397	0,62943328
Gleba 6	0,537418996	0,55475264	0,57368437	1,01382425	1,129095098	0,33069567	0,56231471
Gleba 7	0,638229048	0,55475264	0,75468512	1,10367335	1,136637153	0,09708565	0,58500984
Gleba 8	0,662407473	0,55475264	0,68009453	1,10367335	1,136637153	0,02657047	0,53930216
Gleba 9	0,537418996	0,50264776	0,68009453	1,06931562	1,136637153	0,82673031	0,53930216
Gleba 10	0,537418996	0,55475264	0,60100994	1,06931562	1,129095098	0,75561056	0,51597563
Gleba 11	0,953472597	0,58021483	0,45973586	0,74971561	1,142888205	1,00738911	0,71430328
Gleba 12	0,484628176	0,52889536	0,60100994	1,08151252	1,129095098	0,84929718	0,53930216
Gleba 13	0,484628176	0,52889536	0,65422207	1,09297824	1,136637153	0,87127471	0,53930216
Gleba 14	0,457652921	0,47601443	0,62785814	1,10367335	1,136637153	0,84929718	0,53930216
Gleba 15	0,484628176	0,50264776	0,57368437	1,01382425	1,136637153	0,84929718	0,53930216
Gleba 16	0,511218372	0,50264776	0,65422207	1,04285786	1,142888205	0,84929718	0,56231471
Gleba 17	0,537418996	0,52889536	0,65422207	1,02865142	1,136637153	0,48436591	0,58500984
Gleba 18	0,588632576	0,55475264	0,70546791	1,04285786	1,129095098	0,5709763	0,56231471
Gleba 19	0,638229048	0,58021483	0,68009453	1,09297824	1,129095098	0,5709763	0,58500984
Gleba 20	0,563225357	0,52889536	0,60100994	1,08151252	1,129095098	0,02657047	0,51597563
Gleba 21	0,79841803	0,58021483	0,70546791	1,11355051	1,129095098	0,06203211	0,49233848
Gleba 22	0,537418996	0,52889536	0,54588802	0,96581019	1,110720326	0,48436591	0,53930216
Gleba 23	0,537418996	0,55475264	0,60100994	1,02865142	1,120420076	0,13172727	0,53930216
Gleba 24	0,563225357	0,60527697	0,70546791	1,06931562	1,129095098	0,26609339	0,58500984
Gleba 25	0,638229048	0,58021483	0,45973586	0,74971561	1,120420076	1,11774191	0,56231471
Gleba 26	0,613635572	0,58021483	0,70546791	0,89412992	1,120420076	1,06951236	0,58500984
Gleba 27	0,588632576	0,58021483	0,57368437	0,91283075	1,136637153	1,09555614	0,60738393
Gleba 28	0,662407473	0,76904507	0,80180444	1,10367335	1,129095098	0,23314035	0,51597563
Gleba 29	0,537418996	0,58021483	0,62785814	1,08151252	1,129095098	0,62628368	0,56231471
Gleba 30	0,484628176	0,50264776	0,65422207	0,91283075	1,120420076	0,80358616	0,53930216
Gleba 31	0,484628176	0,50264776	0,65422207	0,94868318	1,129095098	0,82673031	0,53930216
Gleba 32	0,484628176	0,47601443	0,84674826	1,13060134	1,129095098	0,77987604	0,53930216
Gleba 33	0,457652921	0,47601443	0,86837739	1,13759998	1,129095098	0,7307997	0,51597563
Gleba 34	0,484628176	0,47601443	0,92974558	1,13759998	1,136637153	0,75561056	0,51597563
Gleba 35	0,457652921	0,50264776	0,54588802	1,10367335	1,129095098	-0,0092955	0,49233848
Gleba 36	0,588632576	0,65418015	0,68009453	1,09297824	1,120420076	0,77987604	0,53930216
Gleba 37	0,588632576	0,55475264	0,57368437	0,8552341	1,129095098	1,09555614	0,60738393
Gleba 38	0,588632576	0,58021483	0,51762717	0,87492761	1,129095098	1,10716395	0,58500984
Gleba 39	0,75485087	0,70141798	0,57368437	0,8552341	1,110720326	1,09555614	0,62943328
Gleba 40	0,537418996	0,50264776	0,40005581	0,98238632	1,100076235	0,5425861	0,51597563
Gleba 41	0,638229048	0,55475264	0,36955823	0,55823546	1,129095098	1,05517835	0,53930216
Gleba 42	0,709495779	0,55475264	0,48890785	0,60857978	1,142888205	1,09555614	0,56231471

TABELA 4 - Fração da cobertura de vegetação ( $f_c$ ) para a cultura do arroz

Crop	19/08/2013	04/09/2013	07/11/2013	23/11/2013	25/12/2013	11/02/2014	16/04/2014
Gleba 1	0,19223026	0,20082066	0,24999834	0,49774878	0,58518678	0,33915442	0,23112306
Gleba 2	0,19223026	0,21262066	0,24999834	0,52134878	0,58518678	0,33915442	0,24292306
Gleba 3	0,32203026	0,38962066	0,30899834	0,53314878	0,59698678	0,42175442	0,36092306
Gleba 4	0,28663026	0,28342066	0,22639834	0,46234878	0,59698678	0,32735442	0,25472306
Gleba 5	0,22763026	0,23622066	0,22639834	0,41514878	0,58518678	0,42175442	0,29012306
Gleba 6	0,21583026	0,22442066	0,21459834	0,48594878	0,57338678	0,11495442	0,25472306
Gleba 7	0,26303026	0,22442066	0,29719834	0,56854878	0,58518678	0,03235442	0,26652306
Gleba 8	0,27483026	0,22442066	0,26179834	0,56854878	0,58518678	0,00875442	0,24292306
Gleba 9	0,21583026	0,20082066	0,26179834	0,53314878	0,58518678	0,32735442	0,24292306
Gleba 10	0,21583026	0,22442066	0,22639834	0,53314878	0,57338678	0,29195442	0,23112306
Gleba 11	0,44003026	0,23622066	0,16739834	0,32074878	0,59698678	0,43355442	0,33732306
Gleba 12	0,19223026	0,21262066	0,22639834	0,54494878	0,57338678	0,33915442	0,24292306
Gleba 13	0,19223026	0,21262066	0,24999834	0,55674878	0,58518678	0,35095442	0,24292306
Gleba 14	0,18043026	0,18902066	0,23819834	0,56854878	0,58518678	0,33915442	0,24292306
Gleba 15	0,19223026	0,20082066	0,21459834	0,48594878	0,58518678	0,33915442	0,24292306
Gleba 16	0,20403026	0,20082066	0,24999834	0,50954878	0,59698678	0,33915442	0,25472306
Gleba 17	0,21583026	0,21262066	0,24999834	0,49774878	0,58518678	0,17395442	0,26652306
Gleba 18	0,23943026	0,22442066	0,27359834	0,50954878	0,57338678	0,20935442	0,25472306
Gleba 19	0,26303026	0,23622066	0,26179834	0,55674878	0,57338678	0,20935442	0,26652306
Gleba 20	0,22763026	0,21262066	0,22639834	0,54494878	0,57338678	0,00875442	0,23112306
Gleba 21	0,34563026	0,23622066	0,27359834	0,58034878	0,57338678	0,02055442	0,21932306
Gleba 22	0,21583026	0,21262066	0,20279834	0,45054878	0,54978678	0,17395442	0,24292306
Gleba 23	0,21583026	0,22442066	0,22639834	0,49774878	0,56158678	0,04415442	0,24292306
Gleba 24	0,22763026	0,24802066	0,27359834	0,53314878	0,57338678	0,09135442	0,26652306
Gleba 25	0,26303026	0,23622066	0,16739834	0,32074878	0,56158678	0,52795442	0,25472306
Gleba 26	0,25123026	0,23622066	0,27359834	0,40334878	0,56158678	0,48075442	0,26652306
Gleba 27	0,23943026	0,23622066	0,21459834	0,41514878	0,58518678	0,50435442	0,27832306
Gleba 28	0,27483026	0,33062066	0,32079834	0,56854878	0,57338678	0,07955442	0,23112306
Gleba 29	0,21583026	0,23622066	0,23819834	0,54494878	0,57338678	0,23295442	0,25472306
Gleba 30	0,19223026	0,20082066	0,24999834	0,41514878	0,56158678	0,31555442	0,24292306
Gleba 31	0,19223026	0,20082066	0,24999834	0,43874878	0,57338678	0,32735442	0,24292306
Gleba 32	0,19223026	0,18902066	0,34439834	0,60394878	0,57338678	0,30375442	0,24292306
Gleba 33	0,18043026	0,18902066	0,35619834	0,61574878	0,57338678	0,28015442	0,23112306
Gleba 34	0,19223026	0,18902066	0,39159834	0,61574878	0,58518678	0,29195442	0,23112306
Gleba 35	0,18043026	0,20082066	0,20279834	0,56854878	0,57338678	-0,0030456	0,21932306
Gleba 36	0,23943026	0,27162066	0,26179834	0,55674878	0,56158678	0,30375442	0,24292306
Gleba 37	0,23943026	0,22442066	0,21459834	0,37974878	0,57338678	0,50435442	0,27832306
Gleba 38	0,23943026	0,23622066	0,19099834	0,39154878	0,57338678	0,51615442	0,26652306
Gleba 39	0,32203026	0,29522066	0,21459834	0,37974878	0,54978678	0,50435442	0,29012306
Gleba 40	0,21583026	0,20082066	0,14379834	0,46234878	0,53798678	0,19755442	0,23112306
Gleba 41	0,26303026	0,22442066	0,13199834	0,22634878	0,57338678	0,46895442	0,24292306
Gleba 42	0,29843026	0,22442066	0,17919834	0,24994878	0,59698678	0,50435442	0,25472306

TABELA 5 - Coeficiente de evaporação (Ke) para a cultura do arroz

Crop	19/08/2013	04/09/2013	07/11/2013	23/11/2013	25/12/2013	11/02/2014	16/04/2014
Gleba 1	0,20194244	0,19979484	0,18750042	0,12556281	0,10370331	0,1652114	0,19221924
Gleba 2	0,20194244	0,19684484	0,18750042	0,11966281	0,10370331	0,1652114	0,18926924
Gleba 3	0,16949244	0,15259484	0,17275042	0,11671281	0,10075331	0,1445614	0,15976924
Gleba 4	0,17834244	0,17914484	0,19340042	0,13441281	0,10075331	0,1681614	0,18631924
Gleba 5	0,19309244	0,19094484	0,19340042	0,14621281	0,10370331	0,1445614	0,17746924
Gleba 6	0,19604244	0,19389484	0,19635042	0,12851281	0,10665331	0,2212614	0,18631924
Gleba 7	0,18424244	0,19389484	0,17570042	0,10786281	0,10370331	0,2419114	0,18336924
Gleba 8	0,18129244	0,19389484	0,18455042	0,10786281	0,10370331	0,2478114	0,18926924
Gleba 9	0,19604244	0,19979484	0,18455042	0,11671281	0,10370331	0,1681614	0,18926924
Gleba 10	0,19604244	0,19389484	0,19340042	0,11671281	0,10665331	0,1770114	0,19221924
Gleba 11	0,13999244	0,19094484	0,20815042	0,16981281	0,10075331	0,1416114	0,16566924
Gleba 12	0,20194244	0,19684484	0,19340042	0,11376281	0,10665331	0,1652114	0,18926924
Gleba 13	0,20194244	0,19684484	0,18750042	0,11081281	0,10370331	0,1622614	0,18926924
Gleba 14	0,20489244	0,20274484	0,19045042	0,10786281	0,10370331	0,1652114	0,18926924
Gleba 15	0,20194244	0,19979484	0,19635042	0,12851281	0,10370331	0,1652114	0,18926924
Gleba 16	0,19899244	0,19979484	0,18750042	0,12261281	0,10075331	0,1652114	0,18631924
Gleba 17	0,19604244	0,19684484	0,18750042	0,12556281	0,10370331	0,2065114	0,18336924
Gleba 18	0,19014244	0,19389484	0,18160042	0,12261281	0,10665331	0,1976614	0,18631924
Gleba 19	0,18424244	0,19094484	0,18455042	0,11081281	0,10665331	0,1976614	0,18336924
Gleba 20	0,19309244	0,19684484	0,19340042	0,11376281	0,10665331	0,2478114	0,19221924
Gleba 21	0,16359244	0,19094484	0,18160042	0,10491281	0,10665331	0,2448614	0,19516924
Gleba 22	0,19604244	0,19684484	0,19930042	0,13736281	0,11255331	0,2065114	0,18926924
Gleba 23	0,19604244	0,19389484	0,19340042	0,12556281	0,10960331	0,2389614	0,18926924
Gleba 24	0,19309244	0,18799484	0,18160042	0,11671281	0,10665331	0,2271614	0,18336924
Gleba 25	0,18424244	0,19094484	0,20815042	0,16981281	0,10960331	0,1180114	0,18631924
Gleba 26	0,18719244	0,19094484	0,18160042	0,14916281	0,10960331	0,1298114	0,18336924
Gleba 27	0,19014244	0,19094484	0,19635042	0,14621281	0,10370331	0,1239114	0,18041924
Gleba 28	0,18129244	0,16734484	0,16980042	0,10786281	0,10665331	0,2301114	0,19221924
Gleba 29	0,19604244	0,19094484	0,19045042	0,11376281	0,10665331	0,1917614	0,18631924
Gleba 30	0,20194244	0,19979484	0,18750042	0,14621281	0,10960331	0,1711114	0,18926924
Gleba 31	0,20194244	0,19979484	0,18750042	0,14031281	0,10665331	0,1681614	0,18926924
Gleba 32	0,20194244	0,20274484	0,16390042	0,09901281	0,10665331	0,1740614	0,18926924
Gleba 33	0,20489244	0,20274484	0,16095042	0,09606281	0,10665331	0,1799614	0,19221924
Gleba 34	0,20194244	0,20274484	0,15210042	0,09606281	0,10370331	0,1770114	0,19221924
Gleba 35	0,20489244	0,19979484	0,19930042	0,10786281	0,10665331	0,2507614	0,19516924
Gleba 36	0,19014244	0,18209484	0,18455042	0,11081281	0,10960331	0,1740614	0,18926924
Gleba 37	0,19014244	0,19389484	0,19635042	0,15506281	0,10665331	0,1239114	0,18041924
Gleba 38	0,19014244	0,19094484	0,20225042	0,15211281	0,10665331	0,1209614	0,18336924
Gleba 39	0,16949244	0,17619484	0,19635042	0,15506281	0,11255331	0,1239114	0,17746924
Gleba 40	0,19604244	0,19979484	0,21405042	0,13441281	0,11550331	0,2006114	0,19221924
Gleba 41	0,18424244	0,19389484	0,21700042	0,19341281	0,10665331	0,1327614	0,18926924
Gleba 42	0,17539244	0,19389484	0,20520042	0,18751281	0,10075331	0,1239114	0,18631924

TABELA 6 – Evapotranspiração da cultura do arroz (ETc) - Método Dual

Crop	19/08/2013	04/09/2013	07/11/2013	23/11/2013	25/12/2013	11/02/2014	16/04/2014
Gleba 1	3,77613836	3,44196871	6,81795216	8,88744952	10,914996	11,5653978	4,31998868
Gleba 2	3,77613836	3,55612694	6,81795216	9,05584577	10,914996	11,5653978	4,44428548
Gleba 3	5,08388818	5,02379424	7,70522273	9,13241884	10,9440453	12,9335892	5,57814766
Gleba 4	4,75479126	4,20005944	6,43472387	8,59935325	10,9440453	11,3417654	4,56666708
Gleba 5	4,15974785	3,77868236	6,43472387	8,1546354	10,914996	12,9335892	4,92210532
Gleba 6	4,03403787	3,66837261	6,23728177	8,79599534	10,8745859	6,29231052	4,56666708
Gleba 7	4,52359315	3,66837261	7,53612284	9,3288284	10,914996	3,86456634	4,68711233
Gleba 8	4,64034949	3,66837261	7,00362404	9,3288284	10,914996	3,12795331	4,44428548
Gleba 9	4,03403787	3,44196871	7,00362404	9,13241884	10,914996	11,3417654	4,44428548
Gleba 10	4,03403787	3,66837261	6,43472387	9,13241884	10,8745859	10,6318903	4,31998868
Gleba 11	6,01405767	3,77868236	5,4098788	7,08036881	10,9440453	13,0986057	5,36783232
Gleba 12	3,77613836	3,55612694	6,43472387	9,20362002	10,8745859	11,5653978	4,44428548
Gleba 13	3,77613836	3,55612694	6,81795216	9,26919108	10,914996	11,7823116	4,44428548
Gleba 14	3,64399946	3,32592042	6,62829926	9,3288284	10,914996	11,5653978	4,44428548
Gleba 15	3,77613836	3,44196871	6,23728177	8,79599534	10,914996	11,5653978	4,44428548
Gleba 16	3,90615944	3,44196871	6,81795216	8,97412412	10,9440453	11,5653978	4,56666708
Gleba 17	4,03403787	3,55612694	6,81795216	8,88744952	10,914996	7,87600128	4,68711233
Gleba 18	4,28326256	3,66837261	7,18525346	8,97412412	10,8745859	8,76246969	4,56666708
Gleba 19	4,52359315	3,77868236	7,00362404	9,26919108	10,8745859	8,76246969	4,68711233
Gleba 20	4,15974785	3,55612694	6,43472387	9,20362002	10,8745859	3,12795331	4,31998868
Gleba 21	5,29105756	3,77868236	7,18525346	9,38216754	10,8745859	3,49858594	4,19379708
Gleba 22	4,03403787	3,55612694	6,03602629	8,49443209	10,764808	7,87600128	4,44428548
Gleba 23	4,03403787	3,66837261	6,43472387	8,88744952	10,8242058	4,22585076	4,44428548
Gleba 24	4,15974785	3,88703183	7,18525346	9,13241884	10,8745859	5,62310452	4,68711233
Gleba 25	4,52359315	3,77868236	5,4098788	7,08036881	10,8242058	14,0875877	4,56666708
Gleba 26	4,40455404	3,77868236	7,18525346	8,03335398	10,8242058	13,6722909	4,68711233
Gleba 27	4,28326256	3,77868236	6,23728177	8,1546354	10,914996	13,9019299	4,80559933
Gleba 28	4,64034949	4,58831055	7,86999929	9,3288284	10,8745859	5,28106985	4,31998868
Gleba 29	4,03403787	3,77868236	6,62829926	9,20362002	10,8745859	9,32571389	4,56666708
Gleba 30	3,77613836	3,44196871	6,81795216	8,1546354	10,8242058	11,1115522	4,44428548
Gleba 31	3,77613836	3,44196871	6,81795216	8,38526911	10,8745859	11,3417654	4,44428548
Gleba 32	3,77613836	3,32592042	8,18625426	9,46802893	10,8745859	10,8748868	4,44428548
Gleba 33	3,64399946	3,32592042	8,33755521	9,49920341	10,8745859	10,3826765	4,31998868
Gleba 34	3,77613836	3,32592042	8,76295257	9,49920341	10,914996	10,6318903	4,31998868
Gleba 35	3,64399946	3,44196871	6,03602629	9,3288284	10,8745859	2,75271089	4,19379708
Gleba 36	4,28326256	4,09774742	7,00362404	9,26919108	10,8242058	10,8748868	4,44428548
Gleba 37	4,28326256	3,66837261	6,23728177	7,77928619	10,8745859	13,9019299	4,80559933
Gleba 38	4,28326256	3,77868236	5,83100841	7,90821122	10,8745859	14,0006289	4,68711233
Gleba 39	5,08388818	4,30030282	6,23728177	7,77928619	10,764808	13,9019299	4,92210532
Gleba 40	4,03403787	3,44196871	4,97426041	8,59935325	10,6971	8,47245143	4,31998868
Gleba 41	4,52359315	3,66837261	4,751125	5,78769164	10,8745859	13,5425131	4,44428548
Gleba 42	4,86688518	3,66837261	5,62227697	6,12991287	10,9440453	13,9019299	4,56666708

TABELA 7 – Coeficiente da Cultura do arroz (Kc)

Crop	19/08/2013	04/09/2013	07/11/2013	23/11/2013	25/12/2013	11/02/2014	16/04/2014
Gleba 1	0,68657061	0,70244259	0,84172249	1,15421422	1,24034046	1,01450858	0,70819487
Gleba 2	0,68657061	0,72574019	0,84172249	1,17608387	1,24034046	1,01450858	0,72857139
Gleba 3	0,92434331	1,02526413	0,95126206	1,18602842	1,24364151	1,13452537	0,91445044
Gleba 4	0,8645075	0,85715499	0,79441035	1,11679912	1,24364151	0,9948917	0,74863395
Gleba 5	0,75631779	0,77115966	0,79441035	1,05904356	1,24034046	1,13452537	0,80690251
Gleba 6	0,73346143	0,74864747	0,77003479	1,14233706	1,2357484	0,55195706	0,74863395
Gleba 7	0,82247148	0,74864747	0,93038554	1,21153616	1,24034046	0,33899705	0,76837907
Gleba 8	0,84369991	0,74864747	0,86464494	1,21153616	1,24034046	0,27438187	0,72857139
Gleba 9	0,73346143	0,70244259	0,86464494	1,18602842	1,24034046	0,9948917	0,72857139
Gleba 10	0,73346143	0,74864747	0,79441035	1,18602842	1,2357484	0,93262195	0,70819487
Gleba 11	1,09346503	0,77115966	0,66788627	0,91952842	1,24364151	1,1490005	0,87997251
Gleba 12	0,68657061	0,72574019	0,79441035	1,19527533	1,2357484	1,01450858	0,72857139
Gleba 13	0,68657061	0,72574019	0,84172249	1,20379105	1,24034046	1,03353611	0,72857139
Gleba 14	0,66254536	0,67875927	0,81830855	1,21153616	1,24034046	1,01450858	0,72857139
Gleba 15	0,68657061	0,70244259	0,77003479	1,14233706	1,24034046	1,01450858	0,72857139
Gleba 16	0,71021081	0,70244259	0,84172249	1,16547066	1,24364151	1,01450858	0,74863395
Gleba 17	0,73346143	0,72574019	0,84172249	1,15421422	1,24034046	0,69087731	0,76837907
Gleba 18	0,77877501	0,74864747	0,88706833	1,16547066	1,2357484	0,76863769	0,74863395
Gleba 19	0,82247148	0,77115966	0,86464494	1,20379105	1,2357484	0,76863769	0,76837907
Gleba 20	0,75631779	0,72574019	0,79441035	1,19527533	1,2357484	0,27438187	0,70819487
Gleba 21	0,96201046	0,77115966	0,88706833	1,21846332	1,2357484	0,3068935	0,68750772
Gleba 22	0,73346143	0,72574019	0,74518843	1,103173	1,22327363	0,69087731	0,72857139
Gleba 23	0,73346143	0,74864747	0,79441035	1,15421422	1,23002338	0,37068866	0,72857139
Gleba 24	0,75631779	0,7932718	0,88706833	1,18602842	1,2357484	0,49325478	0,76837907
Gleba 25	0,82247148	0,77115966	0,66788627	0,91952842	1,23002338	1,23575331	0,74863395
Gleba 26	0,80082801	0,77115966	0,88706833	1,04329272	1,23002338	1,19932376	0,76837907
Gleba 27	0,77877501	0,77115966	0,77003479	1,05904356	1,24034046	1,21946754	0,78780317
Gleba 28	0,84369991	0,93638991	0,97160485	1,21153616	1,2357484	0,46325174	0,70819487
Gleba 29	0,73346143	0,77115966	0,81830855	1,19527533	1,2357484	0,81804508	0,74863395
Gleba 30	0,68657061	0,70244259	0,84172249	1,05904356	1,23002338	0,97469756	0,72857139
Gleba 31	0,68657061	0,70244259	0,84172249	1,08899599	1,2357484	0,9948917	0,72857139
Gleba 32	0,68657061	0,67875927	1,01064867	1,22961415	1,2357484	0,95393744	0,72857139
Gleba 33	0,66254536	0,67875927	1,0293278	1,23366278	1,2357484	0,9107611	0,70819487
Gleba 34	0,68657061	0,67875927	1,081846	1,23366278	1,24034046	0,93262195	0,70819487
Gleba 35	0,66254536	0,70244259	0,74518843	1,21153616	1,2357484	0,24146587	0,68750772
Gleba 36	0,77877501	0,83627498	0,86464494	1,20379105	1,23002338	0,95393744	0,72857139
Gleba 37	0,77877501	0,74864747	0,77003479	1,01029691	1,2357484	1,21946754	0,78780317
Gleba 38	0,77877501	0,77115966	0,71987758	1,02704042	1,2357484	1,22812534	0,76837907
Gleba 39	0,92434331	0,87761282	0,77003479	1,01029691	1,22327363	1,21946754	0,80690251
Gleba 40	0,73346143	0,70244259	0,61410622	1,11679912	1,21557954	0,74319749	0,70819487
Gleba 41	0,82247148	0,74864747	0,58655864	0,75164826	1,2357484	1,18793975	0,72857139
Gleba 42	0,88488821	0,74864747	0,69410827	0,79609258	1,24364151	1,21946754	0,74863395

TABELA 8 – Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) – calculado pelo ET<sub>o</sub> *Calculator*

19/08/2013	04/09/2013	07/11/2013	23/11/2013	25/12/2013	11/02/2014	16/04/2014
5,5	4,9	8,1	7,7	8,8	11,4	6,1