

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ ) DA  
CANA-DE-AÇÚCAR A PARTIR DO NÍVEL DE COBERTURA  
DO SOLO COM USO DE DRONE**

**HENRIQUE SOARES RIBAS**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL**

**2021**

**ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ ) DA CANA-DE-  
AÇÚCAR A PARTIR DO NÍVEL DE COBERTURA DO SOLO COM  
USO DE DRONE**

Henrique Soares Ribas

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Augusto Biscaro

Coorientador: Prof. Dr. Danilton Luiz Flumignan

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal da Grande Dourados, como  
parte dos requisitos para obtenção do título de  
Engenheiro Agrícola.

Dourados

Mato Grosso do Sul

2021

Espaço reservado para a ficha catalográfica.

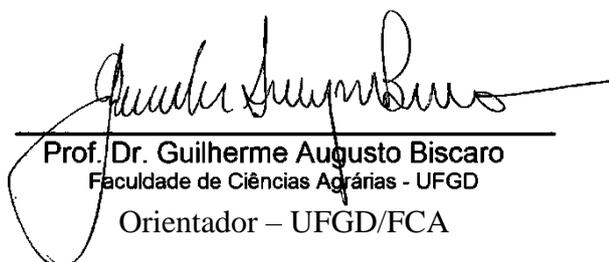
**ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ ) DA CANA-DE-  
AÇÚCAR A PARTIR DO NÍVEL DE COBERTURA DO SOLO COM  
USO DE DRONE**

Por

Henrique Soares Ribas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para  
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: **29/11/2021**



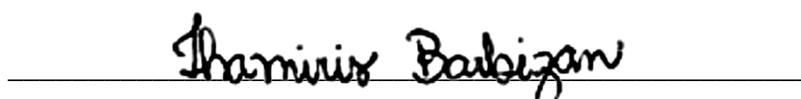
---

Prof. Dr. Guilherme Augusto Biscaro  
Faculdade de Ciências Agrárias - UFGD  
Orientador – UFGD/FCA



---

Prof. Dr. Luciano Oliveira Geisenhoff  
Membro da banca – UFGD/FCA



---

Dra. Thamiris Barbizan  
Membro da banca

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Carmen Soares Ribas e Miguel Aparecido Ribas, pelo apoio e incentivo durante toda a etapas da minha graduação.

Ao pesquisador, Dr. Luiz Danilton Flumignan, por todo aprendizado adquirido ao seu lado na Embrapa Agropecuária Oeste.

Aos professores da Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, pelos conhecimentos adquiridos durante a graduação.

Aos funcionários da Embrapa Agropecuária Oeste e toda equipe de agrometeorologia, pelo apoio e dedicação.

A CNPq e Fundect pelo apoio financeiro.

A minha namorada, Bethânia Rosa Lorençone, por todo carinho e zelo.

Aos meus amigos da universidade, por caminharem ao meu lado nessa jornada.

RIBAS, Henrique Soares. **Estimativa do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) da cana-de-açúcar a partir do nível de cobertura do solo com uso de drone**. 2021. 21p Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2021.

## RESUMO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas do centro oeste brasileiro, sendo importante no cenário nacional, o que incentiva e mostra o quanto necessário estudos em relação a produtividade. O coeficiente da cultura ( $K_c$ ), em conjunto com a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), é utilizado para estimar a evapotranspiração de uma cultura, e sendo uma informação importante para diversas atividades que envolvem o balanço hídrico, como por exemplo, manejo de irrigação e zoneamento climático. Sendo assim, o trabalho teve como objetivo ajustar um modelo matemático para estimar, em condições de campo, o  $K_c$  da cana-de-açúcar em função do nível de cobertura do solo pelo dossel foliar. O experimento foi instalado em área experimental de 0,42 ha, a qual possui um lisímetro de pesagem de grande porte (7,2 m<sup>2</sup> de área, 1 m de profundidade útil de solo e aproximadamente 13.500 kg). O lisímetro de pesagem foi utilizado para medir a evapotranspiração da variedade de cana-de-açúcar RB966928, cultivada sob irrigação, com espaçamento de 1,5 m entre sulcos. Através de relação entre evapotranspiração da cultura e de referência, a qual foi obtida pelo método Penman-Monteith, com dados obtidos diariamente de estação meteorológica, foi determinado os valores de  $K_c$ . Além disso, foi avaliado o percentual de cobertura do solo (%CS) através de imagens aéreas tomadas com drone, e a partir deste derivou-se a fração cobertura de solo ( $fCS$ ). As avaliações foram feitas do plantio até a máxima cobertura do solo, totalizando 13 avaliações em um período de dez meses, onde os valores de %CS variaram de 0 a 99,9%. O modelo polinomial quadrático  $K_c = -0,6613_fCS^2 + 1,2743_fCS + 0,4688$  foi ajustado apresentando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,81 e erro padrão de 0,096.

Palavras-chave: Evapotranspiração; *Saccharum officinarum*; irrigação; VANT.

## ABSTRACT

Sugarcane is one of the main crops in midwest Brazil, and also an important part of the national scenario, which encourages and shows how important the studies on its productivity are. The crop coefficient ( $K_c$ ) and the reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) are used to estimate the evapotranspiration of a crop. The  $K_c$  presents important information for several activities that involve the water balance, for example, irrigation management and climate zoning. Therefore, this work aimed to adjust a mathematical model to estimate, under field conditions, the  $K_c$  of sugarcane by the level of ground covered by the leaf canopy. The experiment was happened in an area of 0.42 hectares, in which there is a large weighing lysimeter (7.2 m<sup>2</sup> of area, 1 m of useful soil depth and approximately 13,500 kg). The weighing lysimeter was used to measure the evapotranspiration of the variety RB966928 irrigated and cultivated in the spacing of 1.5 m between furrows. The value of  $K_c$  was determined daily by dividing the evapotranspiration by the reference evapotranspiration, which was obtained from a nearby meteorological station using the Penman-Monteith method. The percentage of land cover (%LC) was also evaluated through aerial images taken with a drone. The fraction of covered soil ( $f_{CS}$ ) was derived from the LC. The assessments were made from planting to maximum soil cover. There were 13 evaluations in ten months and %LC values ranged from 0 to 99.9%. The quadratic polynomial model  $K_c = -0,6613_fLC^2 + 1,2743_fLC + 0,4688$  was fitted with a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0.81 and a standard error of 0.096.

Key-words: Evapotranspiration; *Saccharum officinarum*; irrigation; UAV.

## SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	2
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 A CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL	4
2.2 A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR	4
2.3 EXIGÊNCIA HÍDRICA DA CANA-DE-AÇÚCAR	5
2.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO	6
2.5 DETERMINAÇÃO DA EVAPORAÇÃO	6
2.6 DETERMINAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO	7
2.7 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ( $ET_0$ )	7
2.8 COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ )	9
2.9 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ )	9
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	11
3.2 PARCELA EXPERIMENTAL	11
3.3 SOLO E CARACTERÍSTICAS DO RELEVO	13
3.4 ESTAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA	13
3.5 DETERMINAÇÃO DA EVAPORAÇÃO	14
3.6 DETERMINAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO	14
3.7 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ )	15
3.8 DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE COBERTURA DO SOLO (%CS)	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ )	17
4.2 PERCENTUAL DE COBERTURA DO SOLO (%CS)	17
5 CONCLUSÕES	20
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

## 1 INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético é parte importante do agronegócio nacional, sendo que em 2017 a área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) no Brasil ocupava pouco mais de 10 milhões de ha e 90% da área localizada na região Centro-Sul (UNICA, 2019).

Devido a demanda nacional e internacional de mercado de etanol, a cana-de-açúcar vem ganhando destaque na produção no Centro-Oeste, e por meio da política nacional dos biocombustíveis, promove o desenvolvimento tecnológico com o uso dos recursos renováveis para geração de energia. Diante disto, ressalta a necessidade de estudos para garantir altas produtividades e uso sustentável dos recursos naturais para produção da cana-de-açúcar.

O Brasil é um dos países que com maior quantidade de água disponível, com um total de 5,661 bilhões de metros cúbicos de água. A grande quantidade de água disponível, não implica em disponibilidade regular em todo perímetro brasileiro (ANA, 2010). O uso da água para irrigação na região centro-oeste do Brasil vem se destacando, implicando na necessidade do manejo racional e sustentável deste recurso.

A cana-de-açúcar é de metabolismo C4, sendo assim, a produtividade é fortemente influenciada pela quantidade de água disponibilizada para a cultura ao longo do ciclo. Por isso, tanto em cultivo sequeiro, quanto irrigado (mais raro), é importante determinar a necessidade hídrica da cultura, através do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), o qual, segundo Allen et al. (1998), representa habilidade que um determinado cultivo, em um dado local e momento, tem em atender a demanda evaporativa da atmosfera. Valores de  $K_c$  das culturas são comumente tabelados na literatura, mas dificilmente são obtidos em tempo real, nas condições de campo da cultura implantada.

Para garantir máxima produtividade da cultura é necessário o conhecimento do consumo hídrico, ou seja, a quantificação da necessidade real de água da cultura ao longo da safra, para que seja feito o manejo correto de irrigação, maneira racional e sustentável.

Com o avanço da tecnologia, os drones vem sendo utilizados com maior frequência na agricultura, pois possuem diversas aplicações comprovadas, inclusive na agrometeorologia e irrigação. Conforme demonstraram Allen et al. (1998), as necessidades hídricas das culturas são fortemente relacionadas com a quantidade de área foliar e o nível de cobertura do solo pela vegetação. Assim sendo, é possível estimar os valores de  $K_c$  em campo por meio de modelos matemáticos, utilizando o nível de cobertura do solo, sendo esses atualmente determinado pelo uso de drones.

O objetivo deste trabalho foi, portanto, ajustar um modelo matemático para estimar em condições de campo o  $K_c$  da cana-de-açúcar, em função do nível de cobertura do solo pelo dossel foliar através do uso de drones.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

O complexo agroindustrial da cana-de-açúcar é a atividade econômica mais antiga do Brasil e teve início na época colonial, com os tradicionais engenhos de açúcar instalados na região Nordeste do país. Ainda que os principais centros produtores estejam localizados nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul, Nordeste e Estado de São Paulo, a cana-de-açúcar é de grande importância para a economia brasileira e tem se desenvolvido em todo o território nacional. Recentemente, a indústria se expandiu para outras regiões como: norte do Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, norte do Paraná e Centro-Oeste (MAPA, 2007).

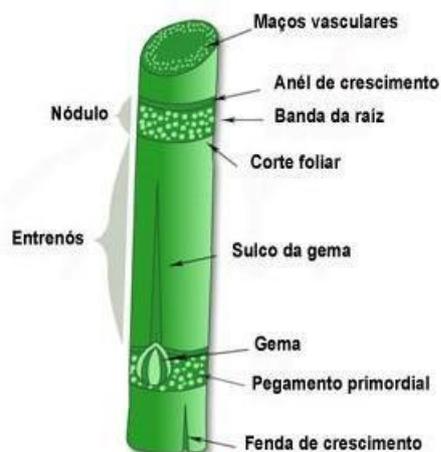
No Centro-Oeste, o cultivo da cana-de-açúcar começou a ser reconhecido somente no final de década de 1990, com a necessidade da diversificação da matriz energética brasileira e consequentemente com o incentivo aos biocombustíveis (CASTRO et al., 2010).

### 2.2 A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A *Saccharum officinarum* L., popularmente conhecida como cana-de-açúcar, vem da família da Poaceae, sendo classificada como monocotiledônea.

A planta cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) possui parte aérea formada por colmos, folhas, inflorescências e frutos (figura 1), e na parte subterrânea é formado por rizomas, que são caules subterrâneos, espessados entre si, ricos em reservas e providos de nós e entrenós, apresentando nas raízes fasciculadas ou também conhecida popularmente como “cabeleira”, sendo característica principal todas as raízes partem de um mesmo ponto e possuem diâmetros semelhantes, não havendo uma raiz principal da planta (MOZAMBANI et al., 2006).

A parte de interesse econômico da cana-de-açúcar é o colmo (Figura 1), que é representado por nós e entrenós, facilmente diferenciados na parte acima do solo, sendo responsável pela sustentação das folhas e das panículas, podendo ser ereto, semiereto ou decumbente dependendo da idade da planta (MOZAMBANI et al., 2006).



**FIGURA 1.** Colmo da cana-de-açúcar (Ilustração: Agricultura em foco).

### 2.3 EXIGÊNCIA HÍDRICA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A baixa disponibilidade hídrica para a cultura da cana-de-açúcar implica diretamente em um resultado negativo na produtividade e na qualidade dos canaviais. A quantidade de água disponível, juntamente com a adubação, material genético, idade do corte, tipo de solo e clima são de suma importância para o desenvolvimento ideal da cultura (DANTAS NETO et al., 2006).

A exigência hídrica da cultura da cana varia de acordo com o estágio vegetativo, evidenciando o estágio inicial de desenvolvimento, com maior demanda hídrica, sendo que ausência de água pode causar prejuízo no acúmulo da matéria seca, crescimento da cultura e aumento do índice de área foliar (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005). Além disso, outros fatores climáticos são importantes para o desenvolvimento da cultura, como temperatura e o índice de radiação solar incidente. A temperatura ideal do solo para o brotamento dos toletes é de 32 a 38 °C, e a temperatura ideal média durante o dia para o desenvolvimento vigoroso da cultura é de 22 a 30 °C.

A cana-de-açúcar possui metabolismo C4, ou seja, é considerada de alta eficiência para a conversão da energia radiante em energia química, alcançando altas taxas fotossintéticas. Com isso, quanto maior a área foliar, maior será o potencial fotossintético. Além disso, a produtividade é fortemente influenciada pela quantidade de água que é ofertada. Por isso, tanto em cultivo sequeiro como irrigado (mais raro), é importante conhecimento da necessidade hídrica da cultura. (CARNEIRO, 2015).

## 2.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração de qualquer cultura, é a soma da evaporação de água pelo solo e transpiração de água através da planta. Os dois processos ocorrem simultaneamente, sendo difícil distingui-los, porém ao longo do desenvolvimento da cultura há uma mudança significativa entre esses dois processos (ALLEN et al., 1998).

Fatores como radiação solar, temperatura do ar, umidade e velocidade do vento interferem diretamente na evapotranspiração. Além das condições ambientais, características da cultura, como metabolismo, material genético, capacidade de reflexão, rugosidade, fase de desenvolvimento e manejo, afetam as taxas de evapotranspiração (ALLEN et al., 1998).

A determinação da evapotranspiração de uma cultura é feita por inúmeros métodos, entretanto, o método direto com melhor resposta e mais utilizado é o lisimétrico, o qual utiliza lisímetros para a determinação da variação de massa ao longo da safra (REICHADT & TIMM, 2004). Os lisímetros são constituídos por tanques impermeáveis, preenchidos com solo estruturado igualmente ao resto da área de plantio e semeado com a mesma cultura em sua bordadura. Os tanques são apoiados em células de carga que fazem a medição em variação da resistência de energia, posteriormente transformadas em peso real, sendo responsáveis pela determinação da variação de massa do sistema (FLUMIGNAN, 2011).

## 2.5 DETERMINAÇÃO DA EVAPORAÇÃO

A evaporação da água é o processo de mudança de estado da água, líquido para gasoso. No solo, ocorre quando há desequilíbrio entre a superfície do solo e o ar ambiente, sendo que, os fatores que influenciam para que tal processo ocorra são: radiação solar, temperatura do ar ambiente, diferença de pressão entre o vapor de água e a umidade ambiente. (ALLEN et al., 1998).

Ao longo do desenvolvimento da cultura, a evaporação tende a diminuir em função do crescimento da área foliar, visto que esta irá produzir sombra sobre o solo, diminuindo a incidência de radiação solar. Logo, a cobertura do solo e a taxa de evaporação são inversamente proporcionais.

Para a determinação da evaporação de água do solo, é possível utilizar a lisimetria com o uso do método dos microlisímetros (FLUMIGNAN, 2008), que são pequenos tubos,

preenchidos por solo estruturado, com a parte inferior vedada para evitar a drenagem e instalados no nível do solo. Para a verificação da evaporação é necessário que durante as avaliações haja ausência de chuva e irrigação, para análise da diferença de massa da amostra, por meio de pesagens periódicas.

## 2.6 DETERMINAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO

A transpiração das plantas é o processo de vaporização da água contida nos tecidos da planta. A água é absorvida pelas raízes das plantas através da diferença de potencial entre a planta e o solo e posteriormente, liberada para o ambiente por pequenas aberturas na superfície da planta, chamada de estômatos (ALLEN et al., 1998).

Os fatores que influenciam a transpiração das plantas são a radiação solar, umidade da atmosfera e solo, temperatura do ar e velocidade do vento. Além disso, com o desenvolvimento da área foliar, há um aumento da transpiração, ou seja, a transpiração aumenta ao longo do desenvolvimento da cultura (FLUMIGNAN, 2008).

A determinação da transpiração pode ser realizada com o uso de lisímetros de pesagem, juntamente com a determinação da evaporação utilizando microlisímetros, que permite a quantificação da transpiração por diferença (FLUMIGNAN, 2008), sendo:

$$T = ET - E$$

Onde:

T é a transpiração da planta (mm.dia<sup>-1</sup>);

ET a evapotranspiração (mm.dia<sup>-1</sup>);

E a evaporação do solo (mm.dia<sup>-1</sup>).

## 2.7 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET<sub>0</sub>)

A evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) é um conceito para estudar a demanda de evaporação da atmosfera, para qualquer cultura, independentemente da fase de desenvolvimento ou manejo. Para a determinação da ET<sub>0</sub>, deve-se utilizar uma cultura livre de pragas e déficit hídrico. De forma geral, em regiões tropicais, é utilizado a grama batatais (*Paspalum notatum*) como cultura de referência (ALLEN et al., 1998).

A  $ET_0$  expressa o poder evaporante da atmosfera local em um momento específico, sem levar em consideração as condições do solo e da cultura específica. O cálculo da  $ET_0$  pode ser realizado através da equação de Penman-Monteith (FLUMIGNAN, 2008; ALLEN et al., 1998).

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u)}$$

Onde:

$ET_0$  é a evapotranspiração de referência estimada pelo método Penman-Monteith ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );

$\Delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar ( $\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$ );

$R_n$  é a radiação líquida na superfície ( $\text{MJ.m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  ou  $\text{MJ.m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$ );

$G$  é o fluxo de calor no solo ( $\text{MJ.m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  ou  $\text{MJ.m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$ );

$\gamma$  é a constante psicrométrica ( $\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$ );

$C_n$  é a constante do numerador que varia com o tempo de análise;

$T$  é a temperatura do ar medida a 2 m de altura ( $^\circ\text{C}$ );

$u$  é a velocidade do vento medida a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );

$e_s$  é a tensão de saturação de vapor ( $\text{kPa}$ );

$e_a$  é a tensão parcial de vapor ( $\text{kPa}$ );

$C_d$  é a constante do denominador que varia com o tempo de análise.

Os valores de constantes do numerador ( $C_n$ ) e constante do denominador ( $C_d$ ), em função do tempo de análise da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e da radiação líquida horária ( $R_n$ ), estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores da constante do numerador ( $C_n$ ) e constante do denominador ( $C_d$ ) para utilização na equação de Penman-Monteith.

Tempo de análise da $ET_0$ e $R_n$	$C_n$	$C_d$
Diário	900	0,34
Horário com $R_n > 0$	37	0,24
Horário com $R_n \leq 0$	37	0,96

## 2.8 COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ )

O coeficiente de cultivo é uma medida adimensional, para distinguir a cultura analisada da cultura de referência, geralmente representada pela grama batatais, sendo obtido através da relação entre a  $ET_c$  e  $ET_0$ , podendo ser descrito de acordo com a equação:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0}$$

Onde:

$K_c$  é o coeficiente de cultivo (adimensional);

$ET_c$  a evapotranspiração da cultura ( $\text{mm.dia}^{-1}$ );

$ET_0$  a evapotranspiração de referência ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ).

A determinação de parâmetros como o  $K_c$  tem grande valia no uso racional da água na agricultura, relacionado ao manejo correto da irrigação e balanço hídrico, sendo assim é fundamental o conhecimento da  $ET_c$ , para utilização manejos sustentáveis.

Em regiões com possibilidade de ocorrência de déficit hídrico para a cultura, a irrigação é uma ferramenta para auxiliar a obtenção de maiores produtividades, fornecendo água em momentos críticos e amenizando os danos causados pelo estresse hídrico. Para maior produtividade e rendimento da cultura, é necessário conhecer a necessidade hídrica da cultura e disponibilizar a quantidade de água ideal para seus processos metabólicos e fisiológicos (FLUMIGNAN, 2008).

A utilização de parâmetros como a evapotranspiração e coeficiente hídrico é essencial para realização do manejo adequado de irrigação. Além disso, a determinação auxilia no zoneamento agrícola, previsão de melhores épocas para o plantio e estudos hidrológicos em geral (FLUMIGNAN, 2008).

## 2.9 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ )

Existem diversas formas para chegar ao coeficiente de cultivo de uma cultura, entretanto os métodos convencionais demandam recursos, que podem impossibilitar sua análise. Os valores de  $K_c$  das culturas normalmente estão tabelados na literatura, mas dificilmente é possível obtê-los em tempo real, nas condições de campo.

Com o avanço da tecnologia, a utilização de imagens aéreas para o monitoramento remoto vêm sendo amplamente difundido, visto que, demanda pouco tempo e recurso. O uso de drone, também conhecidos por Vant (veículo aéreo não tripulável), como instrumento para realização do manejo e balanço de energia em áreas irrigadas tendea ser uma alternativa para o acompanhamento do estado hídrico das culturas (CAMARGO et al., 2015).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado no campo experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, localizado em Dourados, MS, localizado em latitude de 22°16'S, longitude de 54°49'W e altitude de aproximadamente 430 m. O clima da região é do tipo Am, monçônico, com inverno seco, e precipitação média anual de 1500 mm, e temperatura média anual de 22°C (ALVARES et al., 2013).

#### 3.2 PARCELA EXPERIMENTAL

A parcela experimental conteve 0,42 há, com um lisímetro de pesagem de grande porte (7,2 m<sup>2</sup> de área, 1 m de profundidade útil de solo e aproximadamente 13.500 kg), localizado no centro da parcela, com 3 linhas de cana-de-açúcar plantadas sobre o lisímetro, utilizado para avaliação da evapotranspiração real da cana-de-açúcar. O lisímetro de pesagem possui 4 células de carga (figura 2), que enviam uma leitura de pesagem a cada 5 segundos para um datalogger, onde os dados ficam armazenados.



**FIGURA 2.** Instalação da célula de carga do lisímetro.

A cultura foi irrigada durante todo o período do experimento para garantir o máximo desenvolvimento e para que os valores da evapotranspiração não fossem afetados pelo déficit hídrico. O plantio foi realizado em 6 de abril de 2018, com sete linhas de da variedade RB 966928, sendo o lisímetro instalado sob 4 linhas (figura 3 e 4).

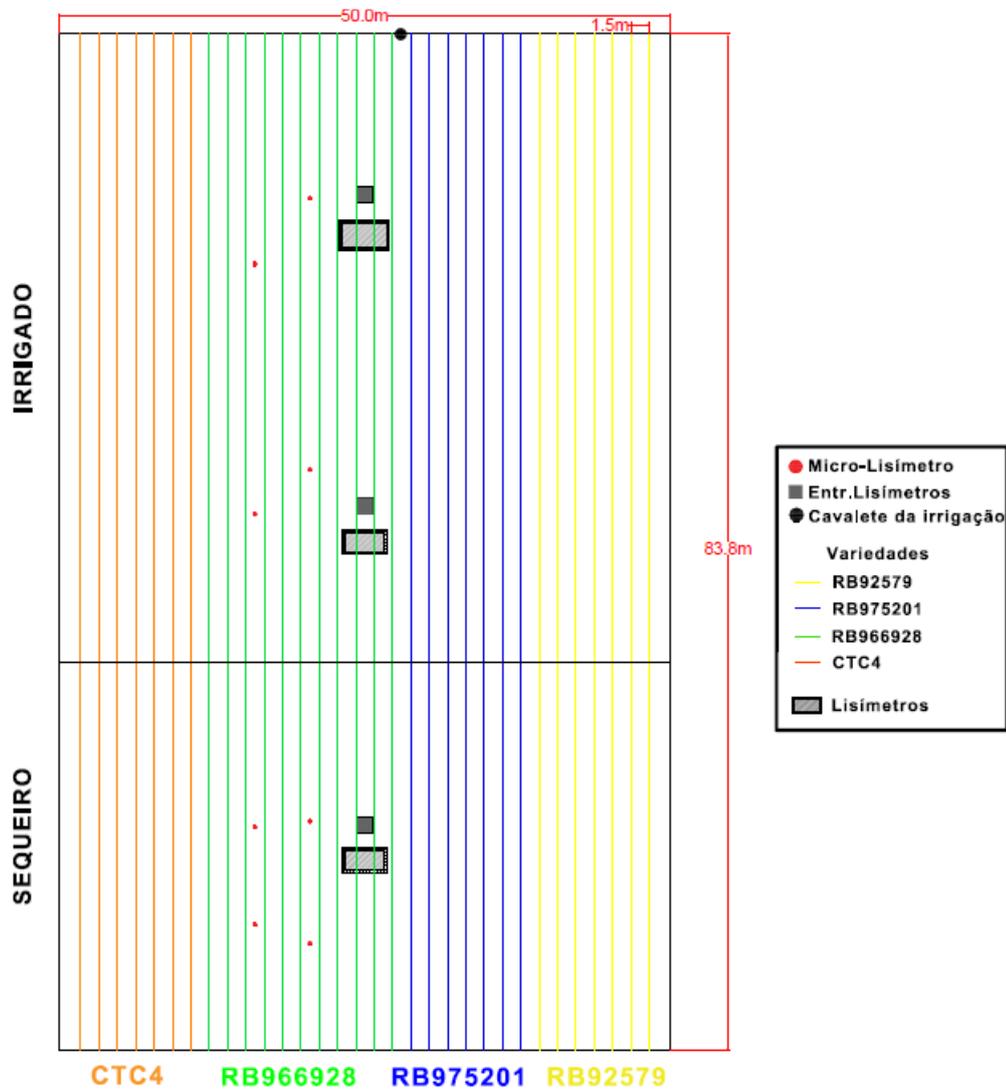
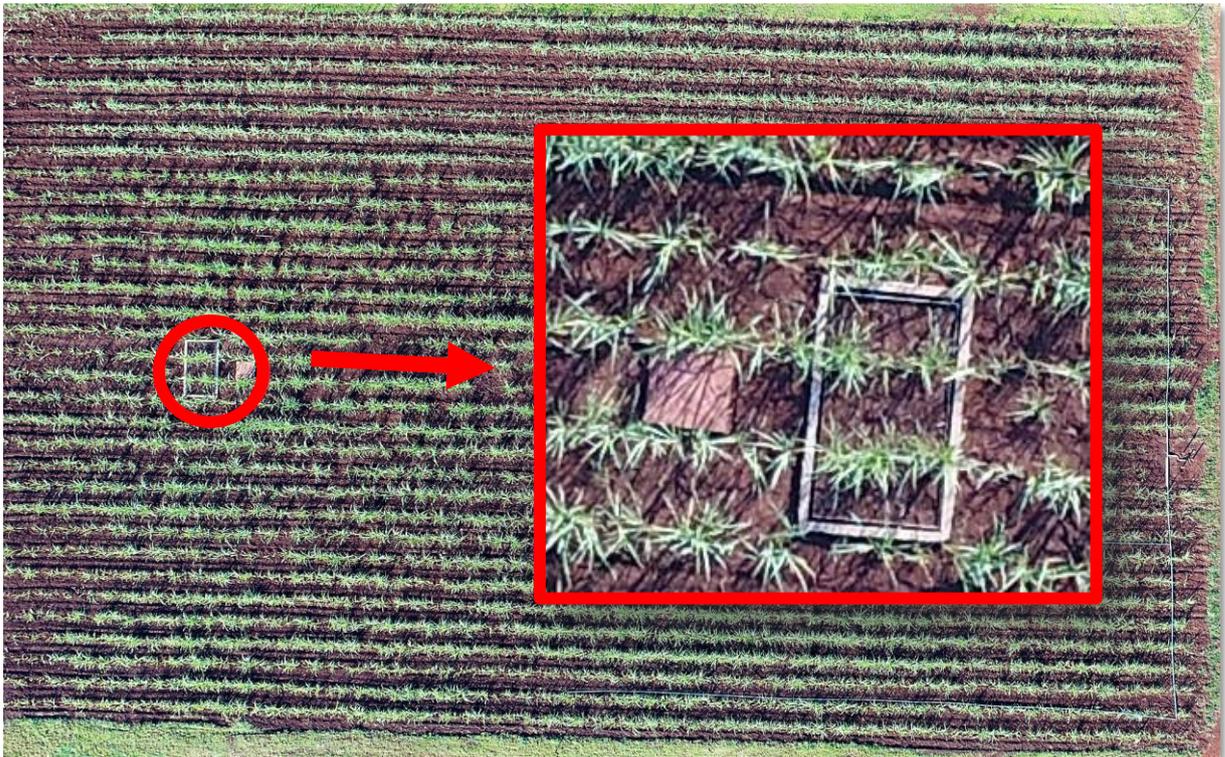


FIGURA 3. Imagem aérea e identificação do lisímetro



**FIGURA 4.** Layout da disposição de variedades.

### 3.3 SOLO E CARACTERÍSTICAS DO RELEVO

O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho distroférico, com saturação por bases baixa ( $V < 50\%$ ) e teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de  $180\text{g kg}^{-1}$  a  $< 360\text{g kg}^{-1}$  na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). É caracterizado por ser solo profundo e com textura argilosa (65 a 70% argila), no entanto, devido à presença de agregados, a capacidade de retenção de água é menor que no barro típico. Portanto, a permeabilidade da umidade do solo é muito alta. A capacidade de troca catiônica é baixa. A pontuação de argila é do tipo 1: 1, principalmente Caulinita e óxido de ferro (REZENDE, 2016).

### 3.4 ESTAÇÃO AGROMETEOROLÓGICA

Os dados meteorológicos para a determinação da evapotranspiração e para realização do manejo de irrigação, foram obtidos em tempo real da estação agrometeorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, publicados automaticamente no site Guia do Clima

(<http://www.cpa0.embrapa.br/clima/>). Além disso, no site, é possível verificar o Banco de dados regional, que foi usado neste experimento para calcular  $ET_0$ . A estação segue todas as recomendações da FAO 56, possuindo uma área total de 1,4 ha e superfície coberta com a grama batatais (*Paspalum notatum Flüggé*). Recebendo frequentemente roçagens para o cumprimento de altura recomendado de 8 a 15 cm, também possui um sistema de irrigação garantindo a ausência de déficit hídrico da cultura.

### 3.5 DETERMINAÇÃO DA EVAPORAÇÃO

Para determinar a evaporação, foi utilizada a metodologia de Flumignan et al. (2012), através dos microlisímetros, com 8 repetições por amostragem sendo estes confeccionados utilizando tubos de PVC rígido, com a estrutura interna possuindo diâmetro de 100mm, comprimento de 150mm e espessura de 2,5mm.

Os microlisímetros foram penetrados no solo, retirando uma amostra indeformada e representativa de sua porção, fechado por baixo para evitar a perda de água por drenagem, apenas por evaporação.

A instalação dos microlisímetros foi feita em condições de campo para que a veracidade do cálculo da variação de massa fosse preservada. Logo, a evaporação do solo foi determinada pela variação de massa por:

$$E = \frac{\Delta M}{\pi r^2}$$

Onde:

E é a evaporação de água do solo (mm).

$\Delta M$  é a variação de massa do ML (g);

r é o raio do microlisímetro (m)

De acordo com as medidas do microlisímetro, com raio de 0,05 m, cada variação de 7,8 g indicou evaporação de 1 mm de lâmina de água.

### 3.6 DETERMINAÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO

Após a determinação dos valores da evapotranspiração, por meio do lisímetro de pesagem, e da evaporação, por meio dos microlisímetros, foi possível determinar a perda de água por transpiração. Para garantir um resultado coerente dos fenômenos hídricos do sistema,

a análise da transpiração foi realizada no mesmo período em que eram determinados os valores da evaporação de água do solo.

### **3.7 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ )**

Durante o ciclo de culturas anuais comuns obtém-se valores de  $K_c$  dividido em três fases, inicial, intermediária e final. Levando em consideração o tempo total do ciclo da cana-de-açúcar de ano, o presente estudo quantificou somente os coeficientes das fases iniciais e Intermediárias, utilizando os valores diários de  $ET_c$  obtidos através do lisímetro de pesagem e da  $ET_0$ , fornecidos no site Guia Clima foi possível determinar o  $K_c$ .

### **3.8 DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DE COBERTURA DO SOLO (%CS)**

Para realizar a avaliação do percentual de cobertura do solo (%CS) foi utilizado um drone modelo Phantom 4 Advanced, da marca Dji®, equipado com uma câmera RGB de 20MP utilizado durante todo o período de avaliação da cobertura do solo. As avaliações (figura 5) foram feitas desde o plantio (06/04/2018) até a máxima cobertura do solo, totalizando 13 avaliações em dez meses que abrangeram desde 0 a 99,9% de %CS.

Foram realizados voos periodicamente durante todo o ciclo da cana-de-açúcar, com mesmo padrão de velocidade, horário e qualidade de imagens. A área de experimento foi irrigada e contava com uma análise de 6 m por 15 m do %CS com 8 repetições distribuídas em toda a área.



**FIGURA 5.** Parcela de amostra do %CS da cana-de-açúcar

As imagens obtidas com o drone passaram por um processo de correção decorrente da projeção cônica da câmera e variações do relevo. A partir dessa correção, a imagem passou a ser chamada de ortofoto, e submetida a um processo de reclassificação, para identificar a presença de plantas na área de análise do %CS, visto que onde não havia plantas poderia significar existência de solo exposto, palhada ou plantas invasoras.

Para a reclassificação das imagens foi utilizado o QGIS, um software livre com código-fonte aberto de sistema de informação geográfica. A ortofoto após classificada foi então submetida a um processo de binarização (figura 6), ou seja, cada parcela foi definida em apenas duas características, área de planta (AP) e área sem plantas (AN). Assim, para obter os valores de %CS, utilizou-se a fórmula de porcentagem padrão, área analisada pela área total, sendo:

$$\%CS = \frac{AP}{AP + AN} \times 100$$

Onde:

%CS é o percentual de cobertura do solo (%);

AP é o total de área coberta plantada com cana-de-açúcar (m);

AN é o total de área sem cobertura pela cana-de-açúcar (m).

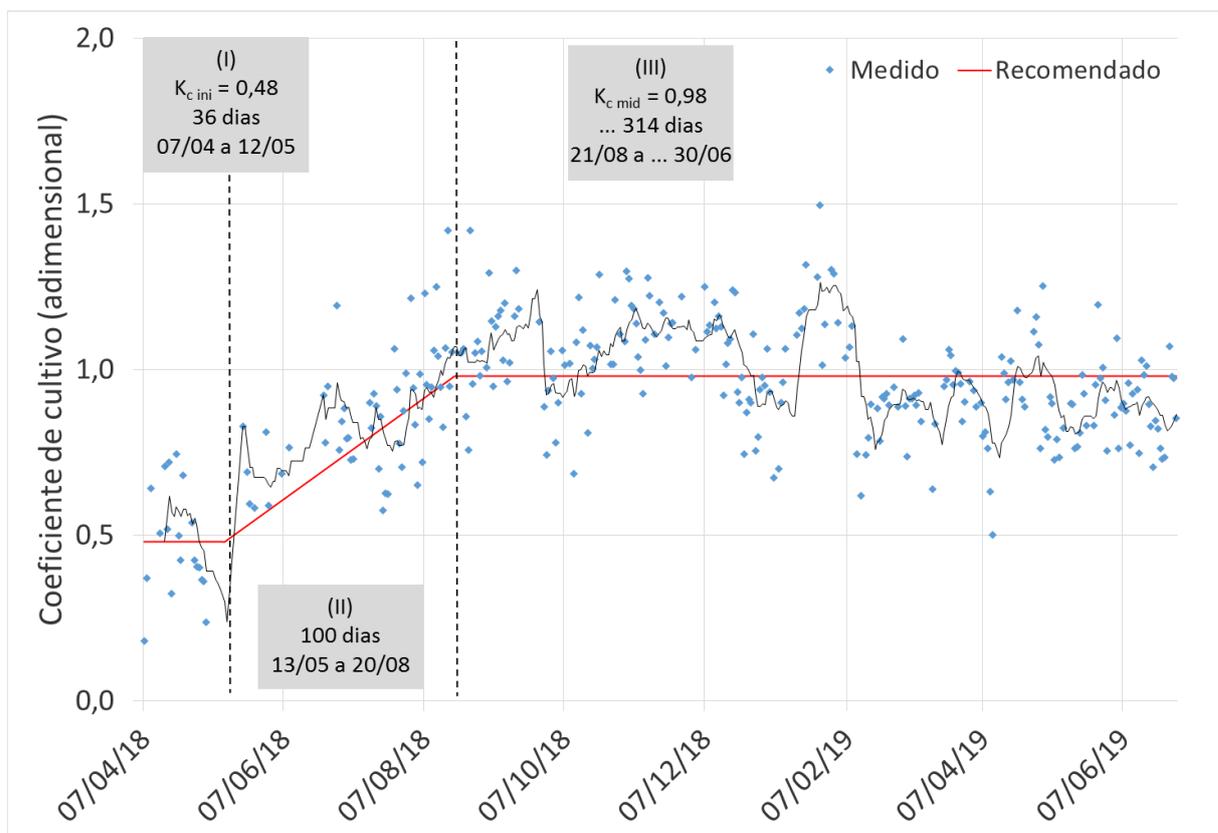


**FIGURA 6.** Parcela de amostra do %CS da cana-de-açúcar depois do processo de binarização.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ )

O  $K_c$  da cana-de-açúcar apresentou três fases (figura 7) e foi composto por fase inicial  $K_{c\text{ ini}} = 0,48$  com duração de 48 dias, logo após uma fase de desenvolvimento com duração de aproximadamente 100 dias, e pôr fim a fase intermediária  $K_{c\text{ mid}} = 0,98$  com duração de 314 dias, a cana-de-açúcar não apresentou um  $K_c$  final, devido ao fato de que a colheita da cana se dá ainda na fase intermediária de seu ciclo.

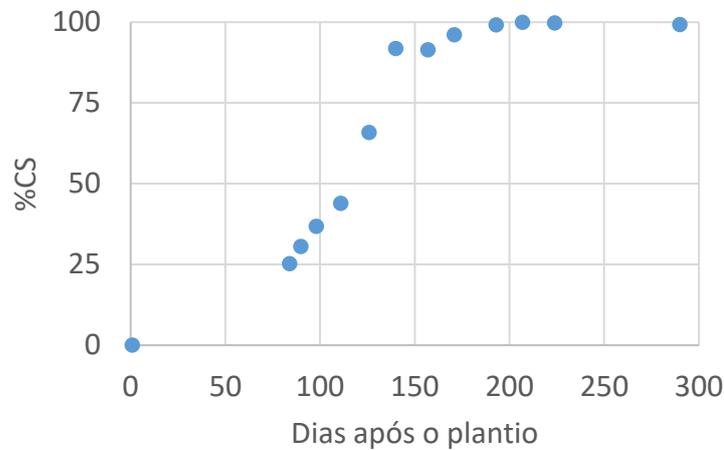


**FIGURA 7.** Gráfico do coeficiente de cultivo e sua variação durante seu desenvolvimento.

### 4.2 PERCENTUAL DE COBERTURA DO SOLO (%CS)

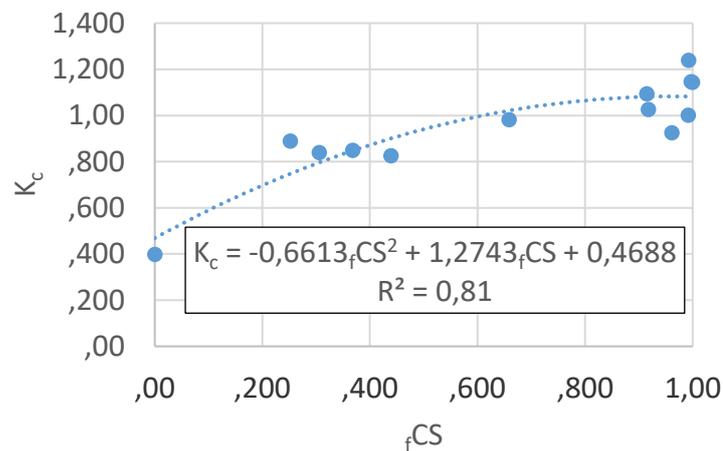
O %CS, que na ocasião do plantio era de 0%, aumentou para próximo de 25% aos 84 dias após o plantio, superando 65% aos 126 dias e 90% já aos 140 dias (figura 8). O crescimento inicial (primeiros 84 dias) não foi tão rápido, haja vista que neste primeiro momento os valores de %CS evoluíram de 0 para 25%. No entanto, nos 56 dias seguintes (até 140 dias após o plantio) o crescimento do %CS foi muito evidente, saído de 25 para 90%, um aumento de 65%

(aproximadamente  $1,16\%$  dia<sup>-1</sup>). Assim, após 140 dias a cobertura do solo era praticamente 100% completa.



**FIGURA 8:** Gráfico do percentual de cobertura do solo e sua variação durante o desenvolvimento.

A relação entre o nível de cobertura do solo e o  $K_c$  pôde ser modelada por meio de um modelo polinomial quadrático que teve como variável resposta o  $K_c$  e variável preditora a fração de cobertura do solo (figura 9). O modelo ajustado apresentou coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,81 e erro padrão de 0,096. Pelo modelo tem-se que com solo descoberto o valor de  $K_c$  é aproximadamente 0,47.



**FIGURA 9:** Modelo matemático ajustado para estimar o  $K_c$  da cana-de-açúcar em função do nível de cobertura do solo.

Da mesma forma, para 25% de %CS tem-se  $K_c$  de 0,75, para 50% tem-se 0,94, 75% este é 1,05, valor este já muito próximo do 1,08 que se obtém quando o %CS é igual a 100%. Assim, observa-se que a expansão dos valores de  $K_c$  ocorre majoritariamente até 60%, momento

em que o  $K_c$  já se iguala a 1. Por outro lado, a partir de 60% de %CS o crescimento dos valores de  $K_c$  já é bem tímido, tendendo a estabilizar.

## 5 CONCLUSÕES

O modelo polinomial quadrático de regressão  $K_c = -0,6613_f CS^2 + 1,2743_f CS + 0,4688$  foi ajustado para estimar valores de  $K_c$  da cana-de-açúcar em condições de campo em função do nível de cobertura do solo pelo dossel foliar.

A equação ajustada apresentou coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,81 e erro padrão de 0,096 expressando pouca variabilidade dos dados em torno da reta ajustada, aumentando a confiabilidade dos resultados obtidos por este trabalho.

Conclui-se que o modelo de regressão linear ajustado pode constituir interessante alternativa para estimar os valores de  $K_c$  da cana-de-açúcar cultivada em função da fração coberta do solo obtida a partir de tecnologias hoje já empregadas no campo, como é o caso do imageamento por drones.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – Agência Nacional das Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe** 2010. Brasília – DF. 78p. 2010.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO irrigation and drainage paper, 56).
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- CAMARGO, D. C. et al. **Impact of water deficit on light interception, radiation use efficiency and leaf area index in a potato crop (*Solanum tuberosum* L.)**. Journal of Agricultural Science, 2015. p. 1-12.
- CARNEIRO, V. A. **Cana-de-açúcar: Uma abordagem climática**. Revista mirante, Anápolis (GO), v. 8, n. 3, 2015. ISSN 19814089.
- CASTRO, S. S. **A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de goiás: Elementos para uma análise espacial do processo - B.goiano.geogr.** Goiânia, v. 30, n. 1, p.171-191, jan./jun. 2010.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO J.L. da C.; FARIAS, C.H. de A.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, C.A.V. de. Resposta da cana-de-acucar, primeira soca, a níveis de irrigação e Adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.283-288, 2006.
- FLUMIGNAN, D L. **Evapotranspiração, seus componentes e coeficientes de cultivo simples e dual de cafeeiros**. Londrina. 2008. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia).
- FLUMIGNAN, D L. **Lisímetros de pesagem direta para o estudo do consumo hídrico do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.)**. Piracicaba. 2011. 200 p. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz.
- INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v.92, p.185-202, 2005.
- MAPA. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>> Acesso em 21 nov de 2021.
- MOZAMBANI, A. E., et al Morfologia da cana-de-açúcar. **Atualização em produção decana-de-açúcar**. 1 ed. Divisão de biblioteca e documentação – ESALQ/USP, 2006. P. 12-14.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

REZENDE, M. K. A. **Evaporação, coeficiente de cultivo simples e dual do milho safrinha para região de Dourados-MS**. 2016. 76p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

UNIÃO DAS INDÚSTRIAS DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). **Área Plantada com cana-de-açúcar, 1980 – 2017**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-area-ibge.php?idMn=33&tipoHistorico=5>>. Acesso em: 21 nov. 2021.