

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**

**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO NA CULTURA DE CANA-  
DE-AÇÚCAR, EM SUPERFÍCIES IRRIGADAS SOBRE  
DIFERENTES EXPOSIÇÕES E DECLIVIDADES.**

**Rodrigo Garcia Brunini**

Engenheiro Agrônomo

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**  
**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO NA CULTURA DE CANA-  
DE-AÇÚCAR, EM SUPERFÍCIES IRRIGADAS SOBRE  
DIFERENTES EXPOSIÇÕES E DECLIVIDADES.**

**Rodrigo Garcia Brunini**

**Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)

**2016**

Brunini, Rodrigo Garcia  
B896i Índice de estresse hídrico na cultura de cana-de-açúcar, em superfícies irrigadas sobre diferentes exposições e declividades/ Rodrigo Garcia Brunini. -- Jaboticabal, 2016  
x, 60 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016  
Orientador: José Eduardo Pitelli Turco  
Banca examinadora: Antônio Carlos Barreto, Teresa Cristina Tarlé Pissarra  
Bibliografia

1. Manejo de água e solo. 2. Temperatura. 3. Cana-de-açúcar. 4. Superfícies inclinadas. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61:632.11



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR, EM SUPERFÍCIES IRRIGADAS SOBRE DIFERENTES EXPOSIÇÕES E DECLIVIDADES.

**AUTOR: RODRIGO GARCIA BRUNINI**

**ORIENTADOR: JOSÉ EDUARDO PITELLI TURCO**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO PITELLI TURCO  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. ANTONIO CARLOS BARRETO  
IFTM / Centro Federal de Educação Tecnológica de Uberaba - Uberaba/MG

Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 18 de fevereiro de 2016

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**RODRIGO GARCIA BRUNINI**, nascido em 02 de Janeiro de 1989, em Jaboticabal – SP, é Engenheiro Agrônomo formado pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal – FCAV/UNESP, desenvolve trabalhos nas áreas de Manejo de água e solo e Bacias hidrográficas, Irrigação, Agrometeorologia e Engenharia rural.

Quando o problema é daqueles duros de roer, e a gente já tentou tudo, arrancou os cabelos e não adiantou nada, pois dessa vez a natureza resolveu bancar a difícil, a gente diz: “muito bem, dona natureza, cansei de ser bonzinho”, e sapeca-lhe o método científico.

(Robert M. Pirsig)

“Dedico este trabalho a Cintia Neves de Souza, minha companheira. Pelo apoio, amor e a confiança em todos os momentos. E por segurar a prancheta quando eu mais precisei”.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco, pelo apoio, amizade e confiança.

Aos meus pais por acreditarem.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias “Júlio de Mesquita Filho” – FCAV/UNESP pela minha formação acadêmica.

A CAPES pelo auxílio financeiro.

A todos os amigos e funcionários do Departamento de Engenharia Rural pelo apoio na execução do projeto.

Ao universo por proporcionar todas as diversidades e contratempos, sem isso eu não estaria preparado para iniciar a próxima fase da minha vida.

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>v</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>2</b>
2.1. A CANA-DE-AÇÚCAR ( <i>Saccharum officinarum</i> L.).....	2
2.2. O SETOR SUCROENERGÉTICO ORIUNDO DA CANA-DE-AÇÚCAR	4
2.3. ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	6
2.4. CANA-DE-AÇÚCAR SOBRE REGIME DE IRRIGAÇÃO .....	10
2.5. EXPOSIÇÕES E DECLIVIDADES DO TERRENO .....	13
2.6. TERMOMETRIA A INFRAVERMELHO E AVALIAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO .....	14
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>17</b>
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	17
3.2. DADOS METEOROLÓGICOS .....	18
3.3. MANEJO DA IRRIGAÇÃO .....	19
3.4. COLETA DE SOLO.....	19
3.5. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO DIÁRIO DAS PLANTAS.....	20
3.6. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DA CULTURA .....	22
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>34</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>35</b>

## **ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR, EM SUPERFÍCIES IRRIGADAS SOBRE DIFERENTES EXPOSIÇÕES E DECLIVIDADES.**

**RESUMO** - A cana-de-açúcar é uma cultura de fundamental importância para o país. Grande parte dos índices de seca ou estiagem agrícola consideram, ou somente a chuva, ou em alguns casos a interação entre água disponível no solo, como passivas, na evapotranspiração real e a potencial. Com este trabalho o objetivo foi de determinar o índice de estresse hídrico diário baseado na termometria a infravermelho, para a cana-de-açúcar em superfícies irrigadas. Foram avaliados dados meteorológicos do ambiente, o índice de estresse hídrico da planta com o uso do termômetro de infravermelho, o potencial de água no solo e analisada a condução do sistema produtivo durante o período de coleta de dados. A pesquisa foi desenvolvida na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, em uma estrutura denominada “Bacia Hidrográfica Experimental”, utilizando superfícies caracterizadas como HNI (superfície horizontal sem irrigação), HI (superfície horizontal irrigada), 20N (superfície com 20% de declividade, exposição norte e irrigada), 40N (superfície com 40% de declividade, exposição norte e irrigada), 20S (superfície com 20% de declividade, exposição sul e irrigada), e 40S (superfície com 40% de declividade, exposição sul e irrigada). Os resultados deste estudo indicaram que: o índice de estresse hídrico diário acima de 5°C compromete negativamente a produtividade da cultura; a superfície de exposição sul com 20% de declividade apresentou maior produtividade sobre as demais superfícies estudadas; e a exposição e declividade do terreno influenciaram no manejo da irrigação e na produtividade para cada superfície estudada.

**Palavras-Chave:** cana-de-açúcar, manejo de água e solo, radiação, superfícies inclinadas

## **WATER STRESS INDEX ON CULTURE OF SUGARCANE IN IRRIGATED SURFACES WITH DIFFERENT EXHIBITIONS AND SLOPES**

**ABSTRACT** - The sugarcane is a crop of vital importance to the country. Much of the drought indices or agricultural drought consider, or only the rain, or in some cases the interaction enters water available in the soil, as passive, the actual evapotranspiration and potential. With this work, the objective was to enter the daily water stress index based on the infrared thermometry, for sugarcane in irrigated areas. They evaluated environmental meteorological data, the water stress index of the plant with the use of infrared thermometer, the water potential in the soil and analyzed driving the production system during the data collection period. The research was conducted in the experimental area of the Department of Rural Engineering FCAV / UNESP, in a structure called "Basin Experimental", using surfaces characterized as HNI (horizontal surface without irrigation), HI (irrigated horizontal surface), 20N (surface 20% slope, north and irrigated exposure), 40N (surface with 40% slope, north and irrigated exposure), 20S (surface with 20% slope, south and irrigated exposure) and 40S (surface with 40% slope, south and irrigated exposure). The results of this study indicated that: the daily water stress index above 5°C adversely compromises the productivity of culture; south exhibition area with 20% slope had higher productivity on the other surfaces studied and exposure; and slope of the terrain influence the management of irrigation and productivity for each study area.

**Keywords:** sugarcane, management of water and soil, radiation, inclined surfaces

**LISTA DE TABELAS****Página**

<b>TABELA 1.</b> Área Total de Cana-de-açúcar no Estado com Precipitação Inferior e Superior à 1.200 mm, Estado de São Paulo, safra de 2014.....	11
<b>TABELA 2.</b> Valores do coeficiente da cultura de cana-de-açúcar (Kc) descrito por Doorenbos e Kassam (1994).....	19
<b>TABELA 3.</b> Lâmina d'água mensal recebida pela cultura em cada tratamento e a precipitação em mm, ocorridas durante o desenvolvimento do experimento. Jaboticabal, SP, 2014/2015.....	24
<b>TABELA 4.</b> Temperatura máxima da cobertura vegetal, em °C, dos tratamentos HI, HNI, 20N, 20S, 40N e 40S nas fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar e a Radiação Solar Global incidente acumulada, em MJ m <sup>-2</sup> Ano <sup>-1</sup> . Jaboticabal, SP, 2014/2015.....	29
<b>TABELA 5.</b> Médias da Área foliar; Massa de matéria seca; Altura da planta e Diâmetro do colmo, para as superfícies estudadas durante o período. ....	33
<b>TABELA 6.</b> Produtividade média de cana-de-açúcar (Mg ha <sup>-1</sup> ), Jaboticabal, SP, 2014/2015. ....	34

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>FIGURA 1.</b> Estádios fenológicos da cana-de-açúcar. Fonte: adaptado Senamhi, 2015. .....	7
<b>FIGURA 2.</b> Queda de produtividade da cana-de-açúcar devido ao estresse hídrico, Estado de São Paulo, Safra 2013/14. Fonte: adaptado de IEA, 2015....	15
<b>FIGURA 3.</b> Bacia Hidrográfica Experimental, Jaboticabal-SP. Foto: Google Earth, 2015 (A) e Rodrigo Garcia Brunini, 2014 (B).....	17
<b>FIGURA 4.</b> Termômetro infravermelho portátil, FLUKE, modelo 62 MAX (A) e determinação do índice de estresse hídrico diário das plantas.....	20
<b>FIGURA 5.</b> Calibração do termômetro de infravermelho. Laboratório de Instrumentação, Aquisição e Processamento (LIAP). .....	21
<b>FIGURA 6.</b> Sistema de numeração de folhas, Kuijper (1915).....	22
<b>FIGURA 7.</b> Valores do índice de estresse hídrico diário, em °C, para os tratamentos HI, HNI e 20N (. Jaboticabal, SP, 2014/2015 .....	25
<b>FIGURA 8.</b> Valores do índice de estresse hídrico diário, em °C, para os tratamentos HI, HNI e 20S. Jaboticabal, SP, 2014/2015.....	26
<b>FIGURA 9.</b> Valores do índice de estresse hídrico diário, em °C, para os tratamentos HI, HNI e 40N. Jaboticabal, SP, 2014/2015.....	26
<b>FIGURA 10.</b> Valores do índice de estresse hídrico diário, em °C, para os tratamentos HI, HNI e 40S. Jaboticabal, SP, 2014/2015.....	27
<b>FIGURA 11.</b> Quantidade de água disponível no solo, a 20 cm, dos tratamentos HI, HNI, 20N, 20S, 40N e 40S no período. Jaboticabal-SP, 2014/2015. ....	28

- FIGURA 12.** Quantidade de água disponível no solo, a 40 cm, dos tratamentos HI, HNI, 20N, 20S, 40N e 40S no período. Jaboticabal-SP, 2014/2015. ....28
- FIGURA 13.** Valores do Índice da área foliar, em cm<sup>2</sup>, para os tratamentos HNI, HI, 20N, 20S, 40N e 40S. Jaboticabal, SP, 2014/2015.....30
- FIGURA 14.** Valores da Massa de matéria seca, em gramas, para os tratamentos HNI, HI, 20N, 20S, 40N e 40S. Jaboticabal, SP, 2014/2015. ....31
- FIGURA 15.** Valores da Altura da parte aérea, em cm, para os tratamentos HNI, HI, 20N, 20S, 40N e 40S. Jaboticabal, SP, 2014/2015.....32
- FIGURA 16.** Valores do Diâmetro dos colmos, em mm, para os tratamentos HNI, HI, 20N, 20S, 40N e 40S. Jaboticabal, SP, 2014/2015.....32
- FIGURA 17.** Produtividade de cana-de-açúcar, em Mg ha<sup>-1</sup> e IEHD máximo, em °C, nas superfícies estudadas. Jaboticabal, SP, 2014/2015. ....34

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil a cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é de grande importância, tanto econômica, como ambiental. Atualmente ocupa mais de 9,9 milhões de hectares, com produção de aproximadamente 700 milhões de toneladas (Instituto de Economia Agrícola - IEA, 2015). Com destaque para o Estado de São Paulo tendo a maior área e a maior produção no país, com 5,4 milhões de hectares e 400 milhões de toneladas (AGRIANUAL, 2015). E para a safra de 2015/2016 no Brasil, caso não ocorram impactos no setor devido as variantes climáticas ocorridas nos últimos anos, estima-se um aumento em para 12,2 milhões de hectares, com uma produção de 902,8 milhões de toneladas de cana processada (Centro de Tecnologia Canavieira - CTC, 2015). Se estes valores se confirmarem, em poucos anos o país será o líder mundial na produção de energia limpa e renovável a partir desta cultura, principalmente pelo aumento da participação de veículos *flex* na frota automotiva brasileira (GURGEL, 2011).

Neste cenário de crescimento e maior competição por áreas com potencial de produção, destaca-se a água e o clima como fatores limitantes de grande parte das regiões de expansão agrícola no Brasil, apresentando problemas de déficit hídrico para a cultura (GONÇALVES, 2009; CANASAT, 2014). Segundo dados do IEA (2015) cerca de 80% da área explorada com cana-de-açúcar apresentou precipitações abaixo do esperado e aumento significativo nas temperaturas médias máximas, quando comparado ao ano de 2014.

O monitoramento efetivo no uso da tecnologia de irrigação para cultura de cana-de-açúcar, é essencial em sua produção, especialmente nas decisões das quais maximizam a produtividade de açúcar e álcool. De acordo com Silva, Borges e Albuquerque (2014), a evapotranspiração é o principal componente de perda de água para a atmosfera dentro de um balanço hídrico, que é a relação entre os parâmetros climáticos e o potencial de água no solo. A temperatura do dossel vegetativo atua como um bom indicador do status hídrico da planta (WANG et al., 2010), sendo esta variável diretamente proporcional à topografia e declividade do terreno e influenciando no metabolismo hídrico das plantas.

A utilização de índices de estresse hídrico somente tornou-se possível com o advento da termometria infravermelha, um método da qual possibilita a medição da temperatura da porção superior do dossel vegetativo sem a necessidade de contato físico com as folhas. O uso de sensores remotos na mensuração de dados ambientais, como o termômetro a infravermelho vem sendo cada vez mais aplicado em estudos de relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera (MARAFON, 2012; TRENTIN, 2011). Sendo uma ferramenta de fácil utilização e rápida resposta na detecção da ocorrência de estresse hídrico.

O método denominado Índice de Estresse Hídrico das Culturas (*Crop Water Stress Index – CWSI*), proposto por Idso et al., (1981) e Jackson (1982), possibilita encontrar de forma prática o índice de estresse hídrico diário (IEHD) para as culturas (FERNANDES, 2010). E com base em modelos apresentados por Garcia, (2000); Silva et al. (2008) e Mazarón (2013), para cana-de-açúcar e outras culturas irrigadas pode-se determinar o IEHD para cultura de cana-de-açúcar, cultivada em diferentes exposições e declividades, fato de suma importância para o manejo da irrigação.

A pesquisa aprofundada das respostas da cultura aos diferentes cenários investigados, torna-se essencial na busca por elevados potenciais de produção. Neste contexto, uma melhor compreensão do planejamento e manejo da irrigação das culturas, baseado em informações ambientais, pode fornecer aos agricultores melhores oportunidades de aplicação em áreas onde há potencial de cultivo. Diante da importância e necessidade de disponibilizar informações científicas e técnicas sobre o manejo da irrigação, o presente trabalho objetivou determinar o índice de estresse hídrico diário baseado na termometria a infravermelho, para a cana-de-açúcar em superfícies irrigadas.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. A CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* L.)**

Pertencente à família Poaceae (gramíneas), foi descrita taxonomicamente, pela primeira vez, por Linnaeus, em 1753, no livro "*Species Plantarum*" (HITCHCOCK, 1923), a cana-de-açúcar (gênero *Saccharum*) é uma planta do tipo C<sub>4</sub> da qual apresenta um mecanismo fotossintético formador de compostos orgânicos com quatro carbonos na cadeia, com alto potencial fotossintético e eficiência no uso e resgate do CO<sub>2</sub> (gás carbônico) da atmosfera. Suas principais características morfológicas/fisiológicas são: inflorescências em forma de espiga, crescimento do caule em colmos, folhas com lâminas de sílica em suas bordas e bainhas abertas.

A propagação é usualmente realizada por partes do colmo (toletes), contendo as gemas, das quais são responsáveis pela brotação, constituindo uma fase importante no ciclo da cultura, pois o processo de transição da gema do estado de dormência para o de crescimento ativo é um fenômeno complexo, desencadeado por enzimas e hormônios reguladores do crescimento e sendo sensível as variáveis ambientais (SILVA; CARLIN PERECIN, 2004; MALAVOLTA; HAAG, 1964).

É uma planta de ciclo perene e adaptada á climas subtropicais e tropicais. Os componentes climáticos responsáveis pela maior expressão de produtividade da cana-de-açúcar são: temperatura (16 °C a 33 °C), alta incidência de radiação solar e disponibilidade de água no solo, ou seja, ela é considerada uma planta essencialmente tropical (CONAB, 2015). O fato de as plantas se desenvolverem em touceiras e perfilharem no campo influencia o planejamento e o manejo da cultura, pois seu potencial de rebrota pode ser afetado por diversos fatores ambientais, como: luz, temperatura, umidade e nutrientes (ALEXANDER, 1973; SCARPARI; BEAUCLAIR, 2004). A cultura necessita de grandes quantidades de água para suprir suas necessidades hídricas durante o ciclo produtivo, cerca de 30% de sua massa total é representada pela matéria seca e, 70% pela água, variando de acordo com o estágio fenológico (SEGATO; MATTIUZ; MOZAMBANI, 2006).

A parte subterrânea responsável pela condução de água, nutrientes e fonte de reservas para a planta é composta por raízes tipo fasciculadas e rizomas, onde, cerca de 85% delas encontram-se nos primeiros 50 cm de profundidade (MOZAMBANI et al., 2006). O crescimento em altura é afetado pela ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, de variações na temperatura do dossel ou, ainda, devido ao florescimento, dependendo das diferentes condições do ambiente produtivo (DIOLA; SANTOS, 2010).

Os colmos são compostos por nós e entrenós bem marcados e se localizam acima do solo, tendo como principais funções a sustentação das folhas e das panículas, condução de água e nutrientes do solo às folhas e o armazenamento de açúcares (MOZAMBANI et al., 2006; VALSECHI, 2008).

As folhas são completas, isto é, são compostas por bainha, colar e lâmina foliar, apresentando inserção alternada no colmo. A lâmina foliar é alongada e relativamente plana, com comprimento que varia entre 0,5 e 1,5 m e largura variando de 2,5 a 10 cm, após estar totalmente expandida (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2008).

Estudos envolvendo as partes do colmo e folhas são importantes para avaliar o crescimento, a atividade metabólica, taxa fotossintética, evapotranspiração e acúmulo de sacarose (AZEVEDO et al., 2002).

## **2.2. O SETOR SUCROENERGÉTICO ORIUNDO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

A cana-de-açúcar é produzida comercialmente em mais de 79 países e territórios, em uma área de cerca de 12 milhões de hectares, sendo os maiores produtores em ordem decrescente: Brasil, Cuba, Índia, México, China, Filipinas, Austrália, África do Sul, Estados Unidos da América (principalmente Havaí), República Dominicana e Formosa (TAVARES, 2009).

O rendimento econômico da cana-de-açúcar é dado pela produção de sacarose, além de açúcares não redutores utilizados para formar o melaço e também a fibra, que pode ser utilizada como fonte de energia para a própria usina. O processamento industrial da cana pode também ser direcionado para a produção de álcool (etanol), utilizado como combustível (RODRIGUES, 1994; BATALHA, 2011). O Brasil encontra-se na posição de maior produtor mundial de cana-de-açúcar e exportador de açúcar. A participação brasileira no volume total comercializado de etanol atinge de forma direta 53% da quantidade total vendida, o país não importa açúcar e etanol e é responsável por 61,8% das exportações de açúcar de cana no mundo (MAPA, 2015).

A cultura tem um papel ambiental muito importante, uma vez que o etanol, um dos subprodutos da cana-de-açúcar, é uma das melhores alternativas para reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa, haja vista que a sua queima como combustível reduz em 70% a emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera em relação à gasolina. Nos próximos anos o país será o líder mundial na produção de energia limpa e renovável, principalmente pelo aumento da participação de veículos *flex* (biocombustíveis) na frota automotiva brasileira, a estimativa é que 74% dos veículos vendidos no Brasil sejam desse tipo em 2017 (BARBOSA et al., 2014; CONAB, 2015; MAPA, 2015). O país colheu cerca de 741 milhões de toneladas nas safras de 2013/2014, em uma área de aproximadamente 9,9 milhões de hectares, porém estes valores encontram-se abaixo do esperado devido as constantes variações ambientais ocorridas nos últimos anos que veem impactando o setor (AGRIANUAL, 2015; IEA, 2015).

Segundo dados da CONAB, (2015) a indústria sucroalcooleira, representa 2% das exportações nacionais, além de reunir 6% dos empregos agroindustriais brasileiros e contribuir de maneira efetiva para o crescimento do mercado interno de bens de consumo. Destaque para o Estado de São Paulo, com a maior área e produção no país, 5,45 milhões de hectares e 404 milhões de toneladas respectivamente nas safras de 2012/2013. Sua participação gira em torno de 56,2% da produção nacional de cana-de-açúcar, 50,6% da produção de etanol (13,9 bilhões de litros) e 63,5% da produção do açúcar (23,9 milhões de toneladas). As maiores regiões produtoras são Barretos, Orlandia e Ribeirão Preto. De acordo com dados do MAPA, (2015), 42,4% das usinas produtoras de açúcar e álcool situam-se no Estado de São Paulo. O Brasil deverá produzir cerca de 650 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra de 2015/2016 em pouco mais de 9 milhões de hectares. A estimativa é de que a produção do país tenha um incremento de 3,1% em relação à safra de 2014 e só não é maior porque o aumento na área plantada no país é relativamente pequeno (0,7%) e a produtividade nos canaviais de São Paulo, maior estado produtor, se recuperam de um impacto hídrico da safra passada.

O setor sucroenergético brasileiro vem crescendo de forma exponencial e parte das áreas de cultivo de cana-de-açúcar em expansão apresenta restrições ambientais limitantes ao desenvolvimento da cultura e está sofrendo impactos devido às constantes mudanças climáticas que têm gerado períodos intensos de seca (períodos

de déficit hídrico). Nestas regiões, é necessária a utilização de uma abordagem técnica: drenagem, irrigação, fertilização e calagem e o preparo periódico do solo (BARBIERI; VILLA NOVA, 1977). Um bom planejamento e manejo do cultivo para atingir excelente produção de sacarose é ideal para manter o sistema produtivo em condições de temperaturas mais baixas e umidade adequada, possibilitando o melhor desenvolvimento durante a fase vegetativa, garantindo o enriquecimento de sacarose até o corte (HUMBERT, 1968; ALFONSI et al., 1987; VAREJÃO-SILVA; CEZAR-BARROS, 2001).

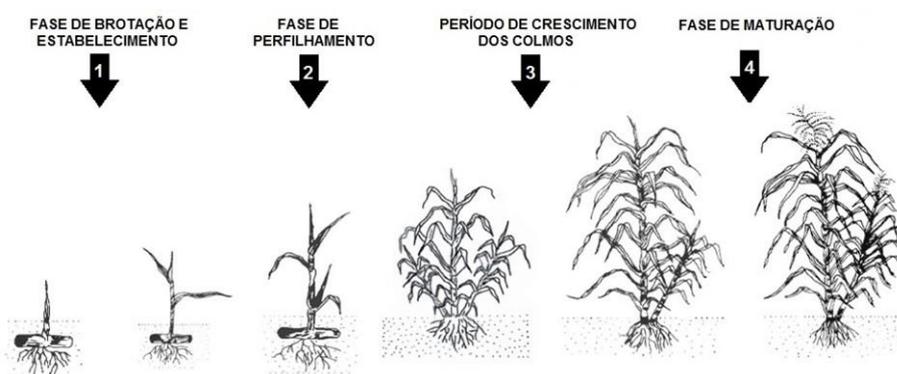
O setor sucroenergético brasileiro proveniente da cana-de-açúcar é expressivo nos cenários internacional e nacional, tanto para impulsionar a economia do país, quanto para a geração de serviços, direta e indiretamente. Contudo, apesar de o país destacar-se no cenário internacional por ter a tecnologia empregada nas diferentes etapas da produção, a pesquisa científica deve continuar progredindo, para superar os futuros impactos ambientais e evoluir o processo produtivo, desde a lavoura até a indústria, de forma cada vez mais eficiente e sustentável (OLIVEIRA; BRAGA; SANTOS, 2014).

### **2.3. ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA CANA-DE-AÇÚCAR**

As fases de crescimento da cana-de-açúcar correspondem as modificações no tamanho, na massa ou no volume da planta, ou de qualquer órgão dela, em função do tempo. Conhecer a variação dos estádios de desenvolvimento da planta durante o ciclo é essencial para que se possa planejar e estimar o seu crescimento nos diferentes estádios de desenvolvimento (TERUEL; BARBIERI; FERRARO, 1997; BATALHA, 2011; MARAFON, 2012).

Sendo a cana-de-açúcar uma cultura semiperene com perfilhamento abundante na fase inicial de seu desenvolvimento, as plantas estabelecem a competição intraespecífica por radiação fotossinteticamente ativa (auto sombreamento), induzindo assim a inibição nos perfilhos e conseqüentemente acelerando o crescimento dos colmos principais (MAGALHÃES, 1987). Fatores ambientais como variações de temperatura, nutrientes, disponibilidade hídrica e

intensidade luminosa (radiação solar), são os responsáveis por afetar os processos metabólicos e energéticos da cana-de-açúcar. De acordo com Oliveira et al., (2010), efetuar uma análise de crescimento na cultura, nos permite identificar suas diferentes fases de desenvolvimento, em diversos cenários de produção, dos quais divergem na disponibilidade hídrica e radiação solar, obtendo respostas distintas do crescimento e produtividade da cultura. O desenvolvimento da cana-de-açúcar é dividido em quatro estádios fenológicos, Figura 1.



**FIGURA 1.** Estádios fenológicos da cana-de-açúcar. Fonte: adaptado Senamhi, 2015.

- (i) Brotação e emergência: crescimento lento, dependente da umidade do solo e temperatura ambiente, sendo ótima entre 28 e 30°C (LIU, KINGSTON e BULL, 1998), levando cerca de 20 a 30 dias para a ocorrência da brotação;
- (ii) Perfilhamento e estabelecimento da cultura, início em torno de 40 dias após o plantio e pode durar até 120 dias, assim como a brotação das gemas, o perfilhamento também sofre influência da temperatura e umidade do solo. Bezuidenhout et al. (2003), indica que o estresse hídrico pode causar redução na emissão de novos perfilhos, devido a deficiência hídrica cessar a divisão celular impedindo a diferenciação e o crescimento dos tecidos que darão origem às novas estruturas dos perfilhos;
- (iii) Crescimento dos colmos, inicia a partir dos 120 dias após o plantio ou corte e dura por até 270 dias, em um ciclo de 12 meses, sendo o estágio mais importante do cultivo, pois é quando se acumulam aproximadamente 75% da matéria seca total, da qual é determinada pela quantidade de radiação solar interceptada e

sua conversão em matéria seca. Singels, Donaldson e Smit (2005) expõem que a temperatura e a radiação solar são os principais fatores responsáveis pela regulação do dossel; e

- (iv) A maturação dos colmos e florescimento, onde ocorre aumento da área foliar da cana-de-açúcar no período de grande crescimento da cultura, com o passar do tempo a capacidade fotossintética decresce, ocorrendo redução na taxa de crescimento da planta e conseqüente aumento dos açúcares nos colmos, inicia-se 270 a 360 dias após o plantio e pode prolongar por até 6 meses (DIOLA; SANTOS, 2010). O florescimento da cana é induzido por um ambiente propício quanto ao Fotoperíodo (de 11,5 a 12 horas de luz) e a temperatura ideal, principalmente noturna sendo que temperaturas máximas de 32°C durante a iniciação floral são deletérias para o processo de florescimento (BERDING; MOORE, 2001).

De acordo com Marafon, (2012), pode-se compreender a interpretação fisiológica das diferentes fases do crescimento da seguinte forma. No início a planta depende exclusivamente de reservas nutricionais encontradas nos toletes, estes nutrientes darão a nova planta o suporte na produção de seus diferentes órgãos componentes, inclusive as novas folhas, que uma vez formadas irão contribuir na interceptação da luz e na taxa de crescimento. Com o desenvolvimento do sistema radicular e a expansão das folhas, a planta começa então a retirar água e nutrientes do solo e inicia os processos metabólicos dependentes da fotossíntese. Esta é a fase de maior incremento na taxa de matéria seca, pois as folhas vão sendo gradualmente auto sombreadas pelo próprio dossel vegetativo e ocorre um aumento exponencial do índice de área foliar. Ao atingir o tamanho definitivo, a planta entra para a fase de senescência foliar e maturação dos colmos, período onde ocorre a translocação de açúcares para os órgãos de armazenamento até o ponto de colheita.

O Brasil é o único país no mundo com duas colheitas anuais de cana-de-açúcar, isto ocorre devido a suas duas estações distintas durante o ano. De setembro a abril nas regiões Norte - Nordeste e de maio a dezembro nas regiões Centro - Sul. Sendo a colheita definida em função da variedade, época de plantio (duração do ciclo), manejo da maturação e condições climáticas no ambiente. A duração do ciclo está

ligada ao tipo de cana e planejamento da época de plantio. A cana de ano e meio (14 a 22 meses), plantada de janeiro ao início de abril, apresenta taxa de crescimento mínimo de maio a setembro, com pequena disponibilidade hídrica no solo ou mesmo déficit hídrico e baixas temperaturas e menores intensidades de radiação; cana de ano (12 meses), plantada em setembro-outubro, tem seu desenvolvimento máximo de novembro a abril e diminui depois devido às condições climáticas adversas do período de inverno no centro sul; cana soca (12 meses) e a cana de inverno (12 a 16 meses), (RODRIGUES, 1994; CTC, 2015).

De acordo com Gemente et al. (1986), o clima é o principal determinante das restrições ambientais, constituído pela interação do solo e planta. Apresenta influência direta nos tratamentos culturais e manejo da cultura, como por exemplo a época de colheita e o número programado de cortes. Em experimentos feitos por Humbert, (1968), variáveis climáticas como temperatura, radiação fotossinteticamente ativa e umidade relativa do ar foram qualificadas como os principais elementos meteorológicos que controlam o crescimento da cana-de-açúcar. Sendo considerada uma planta tropical, apresenta desenvolvimento superior em áreas quentes e ensolaradas.

A radiação solar responsável pela variação de temperatura do meio é uma variável ambiental da qual intervém em aspectos fisiológicos e físico-químicos das plantas como: o crescimento, desenvolvimento e regime térmico, sendo de fundamental importância na produção de biomassa e no condicionamento da evapotranspiração. A radiação líquida que é a radiação disponível ao meio é o resultado de um balanço energético, sendo a variável mais utilizada na estimativa da demanda hídrica pelas plantas (TRENTIN et al., 2011). A diferença de temperatura, entre as folhas de uma planta e o ar está intimamente associada ao processo de transpiração, à medida que as plantas aumentam a transpiração ocorre uma redução equivalente na temperatura foliar, devido à dissipação de energia pela água na forma de calor latente, fazendo com que a temperatura foliar fique com valor inferior a temperatura do ar, a este processo dá-se o nome de evapotranspiração (VIEIRA et al., 2014).

A captação solar pela planta é diretamente proporcional a sua taxa fotossintética, conseqüentemente no aumento da produção de açúcares e produtividade. Fatores intrínsecos do clima como temperatura, intensidade luminosa e umidade atuam durante o ciclo produtivo no metabolismo da cultura de cana-de-

açúcar (planta C<sub>4</sub>), na qual apresenta alta eficiência energética em regiões quentes e ensolaradas, condições climáticas existentes na região sudeste do Brasil, mais especificamente no interior do Estado de São Paulo (BRUNINI, 2008). No entanto, segundo dados apresentados pelo CTC (2015) e IEA (2015), consequentes aumentos gradativos da temperatura e restrição na disponibilidade hídrica (precipitações) nas últimas safras, estão reduzindo o processo de crescimento da cana-de-açúcar e produtividade das lavouras na região.

#### **2.4. CANA-DE-AÇÚCAR SOBRE REGIME DE IRRIGAÇÃO**

As necessidades hídricas da cana-de-açúcar variam conforme os períodos de crescimento, a cultura necessita em média, de 1.500 a 2.500 mm de chuva, distribuídos de maneira uniforme durante o ciclo. Seu consumo diário de água nas principais regiões produtoras do país, dependendo da variedade e do estágio de desenvolvimento da cultura, em geral tem variado de 2,0 a 6,0 mm/dia (SALASSIER, 2006).

A disponibilidade de água no solo favorece a produção vegetativa da cultura, sendo que sua falta ou excesso afeta de maneira significativa o desenvolvimento da área foliar (MAULE et al., 2001). Quando a quantidade de água não atende às necessidades hídricas da cultura, desenvolve-se um estresse hídrico, no qual causa o fechamento dos estômatos e a diminuição da fotossíntese, uma adaptação evolutiva das plantas em resposta a escassez de água, que a longo prazo acaba afetando negativamente o crescimento e rendimento final da produtividade. O déficit hídrico não está limitado apenas às regiões áridas e semiáridas do planeta, uma vez que, mesmo em regiões consideradas úmidas, com a distribuição irregular das chuvas e as altas temperaturas pode limitar o crescimento, provocando a redução das folhas e o acúmulo de substâncias indesejáveis para as plantas (enzimas oxidativas), impactando a produção final (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Segundo dados apresentados pelo IEA (2015) e CATI (2015), na safra de 2014, cerca de 80% da área explorada com cana-de-açúcar apresentou precipitações abaixo dos 1.200 mm esperados, Tabela 1.

**TABELA 1.** Área Total de Cana-de-açúcar no Estado com Precipitação Inferior e Superior à 1.200 mm, Estado de São Paulo, safra de 2014.

Descrição	Área Total (ha)	Participação (%)
Área plantada com cana-de-açúcar com precipitação < 1.200 mm/ ano	4.855.328,63	0,80
Área plantada com cana-de-açúcar com precipitação > 1.200 mm/ ano	1.211.777,63	0,20
Área total plantada no estado	6.067.106,26	1,00

Fonte: Adaptado de IEA, 2015.

Quando sofre estresse hídrico, a cultura de cana-de-açúcar apresenta algumas modificações específicas como diminuição na altura de plantas, redução no diâmetro de colmos, queda de folhas verdes e porcentagem diminuta da área foliar, dentre outras (SILVA et al., 2008). Algumas dessas modificações são mecanismos de tolerância a seca, assim como o fechamento dos estômatos para evitar a perda de água, são respostas evolutivas da planta das quais evitam ou retardam a sua morte. Segundo Inman-Bamber e Smith (2005), plantas que sofrem estresse hídrico durante o desenvolvimento, ficam sujeitas a restrições nos processos fisiológicos, como a divisão celular e alongação das células, causando diminuição na taxa de acúmulo de matéria seca, crescimento das plantas e índice de área foliar. A prática da irrigação associada junto a outros métodos de manejo da cultura de cana-de-açúcar, evita os danos causados pelo estresse hídrico e permite ampliar o tempo de exploração da planta, o número de colheitas e busca o melhor rendimento do ponto de vista econômico, principalmente nas fases de germinação, perfilhamento e alongamento dos colmos (enriquecimento em sacarose) (TRINTINALHA et al., 2004; DALRI et al., 2008).

A resposta de produtividade da cana-de-açúcar irrigada depende de um conjunto de fatores, tais como: quantidade de água e fertilizantes aplicados, do manejo de irrigação, idade de corte e do tipo de solo e do clima (GAVA et al., 2011). Conhecer estes fatores possibilita realizar um planejamento técnico de quanto e quando irrigar. Através do monitoramento da umidade no solo pode-se ter maior controle da quantidade de água a ser irrigada e o monitoramento do estresse hídrico permite definir o momento ideal para se realizar a irrigação, controlar estas variáveis é importante para se minimizar os danos causados pela variação hídrica nas culturas, seja por excesso ou escassez de água (LEÃO et al., 2005).

O movimento da água oriunda da irrigação ou precipitação natural no sistema solo-planta-atmosfera é realizado pela evapotranspiração ( $ET_0$ ), definida como a perda por evaporação do solo e conseqüentemente transpiração das plantas para o ambiente (SILVA; BORGES; ALBUQUERQUE, 2014). O transporte de água nas plantas proveniente da diferença entre o potencial de água no solo e na atmosfera tem influência na irrigação das culturas e relaciona-se com a capacidade do solo em reter água, podendo ser estimado através da medição direta ou indireta da umidade, com o uso de modelos de balanço hídrico, dos quais relacionam a temperatura do dossel e o potencial de água no solo. Segundo Santos, Suzuki e Satika (2008), o balanço hídrico é essencial para entender a relação entre as formas de entrada, saída e conservação da água no meio (atmosfera, plantas e solo).

A evapotranspiração atinge níveis críticos para as plantas de cana-de-açúcar, normalmente quando a cultura encontra-se na fase de crescimento vegetativo (alongamento dos colmos) (KEATING et al., 1999). Estudos realizados por Hartl, (1939) em plantas de cana-de-açúcar cultivadas sobre regime controlado de irrigação, utilizando como base a evapotranspiração, evidenciaram que estas plantas são capazes de sintetizar cerca de dez vezes mais sacarose, em relação a plantas não irrigadas, um dos efeitos causados pela deficiência hídrica. Oliveira, Braga e Santos (2014); Dantas Neto et al., (2006) e Coelho, Barbosa e Marciel (2002), trabalhando com cana-soca, avaliaram a resposta da cultura à irrigação suplementar quando plantada no período de maio a agosto e verificaram aumento no comprimento médio das plantas irrigadas cerca de duas vezes maior do que em plantas sob regime de sequeiro.

A irrigação complementar ou suplementar da cana-de-açúcar é uma ferramenta que vem cada vez mais sendo utilizada para promover a verticalização da produção canavieira. Principalmente devido a incorporação de novas áreas agrícolas em crescente expansão, sobremaneira as que apresentam maiores variações ambientais, como a deficiência hídrica, fato no qual acaba influenciando na produtividade e qualidade das lavouras.

## 2.5. EXPOSIÇÕES E DECLIVIDADES DO TERRENO

O Brasil possui grande extensão territorial e é um dos países mais tradicionais na produção de cana-de-açúcar, cultura cultivada em diversos tipos de solos que estão sob influência de climas adversos, resultando em vários cenários produtivos (DIAS, 1997).

De acordo com Cesar et al., (1987) e Dias et al., (1999), a produção e maturação da cana-de-açúcar está sujeita a interferência direta das variáveis ambientais, assim como, características químicas, físicas e hídricas do horizonte subsuperficial do solo, apresentando significativas correlações com a produtividade agrícola da cultura. O estudo da cultura em ambientes com disponibilidade específica de recursos (água, solo e radiação solar), pode gerar uma enorme quantidade de informações para adequar o melhor manejo e cultivar, sendo possível explorar ao máximo o local de produção para promover o melhor rendimento e conseqüentemente maior lucratividade ou competitividade para os produtores de cana-de-açúcar (MAULE et al., 2001).

Coan, (2012) afirma que superfícies com diferentes exposições em relação ao sol (norte-sul, leste-oeste) e declividades do terreno, divergem entre si nas quantidades recebidas de radiação solar, a qual é o fator primário que condiciona os elementos climatológicos e fisiológicos relacionados ao crescimento e estabelecimento das culturas. O acúmulo da radiação incidente em diversos cenários produtivos e a avaliação técnica sobre seu efeito no funcionamento de processos fisiológicos das plantas são fundamentais para estabelecer ferramentas capazes de auxiliar na produção vegetal e, também, para que se possa propor práticas de manejo que possibilitem o melhor aproveitamento deste e de outros recursos.

Estudos realizados por Viana, Gonçalves e Rotunno Filho (2013), indicam que a evapotranspiração potencial e as temperaturas médias divergem ao longo de uma bacia hidrográfica, sendo ambas proporcionais a declividade do terreno. Para Caramori e Arita (1988), os valores de evapotranspiração oferecem um grande subsídio para o dimensionamento de projetos de irrigação e drenagem, bem como para estudos de balanço hídrico. Outras pesquisas tem utilizado variáveis topográficas

para explicar os padrões aleatórios da variação no rendimento e qualidade de culturas (BENINCASA, 1976; TURCO et al., 1997; TURCO; MILANI; FERNANDES, 2012).

O solo é apenas um dos componentes de um conjunto complexo de fatores de produção, destacando-se pelo seu importante papel de fornecer às plantas suporte físico, água e nutrientes. As relações solo-geomorfologia tornaram-se uma ferramenta importante para identificar e mapear zonas de manejo específico, garantindo a localização de limites mais precisos entre áreas distintas, permitindo que técnicas agrônômicas possam ser transferidas com facilidade e economia para ambientes semelhantes. Neste contexto, uma melhor compreensão dos padrões espaciais das culturas, baseada em informações topográficas, pode fornecer aos agricultores oportunidades de aplicação de sítios específicos de manejo (SANCHEZ et al., 2012).

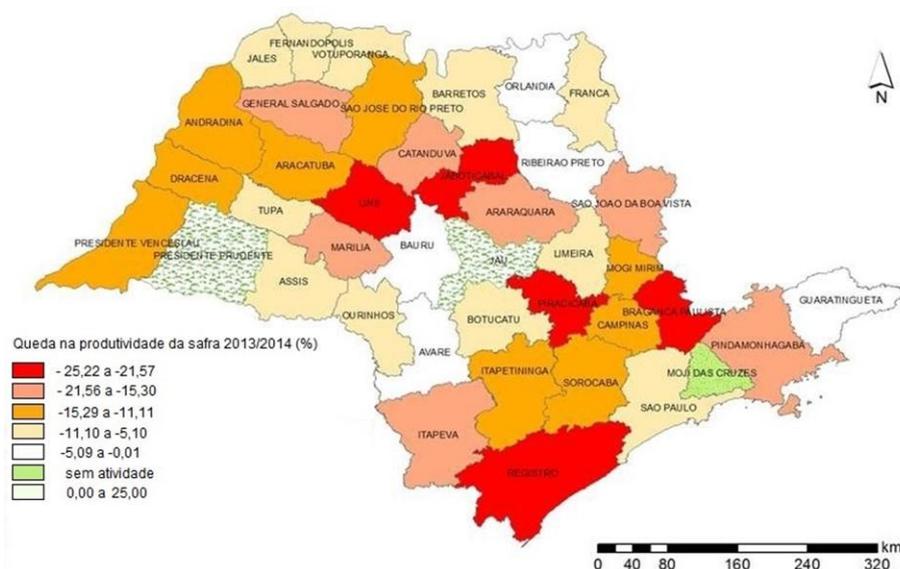
## **2.6. TERMOMETRIA A INFRAVERMELHO E AVALIAÇÃO DO ESTRESSE HÍDRICO**

A radiação solar intervém no crescimento, desenvolvimento e no regime térmico das plantas, tendo grande importância no controle da evapotranspiração e produtividade. A variação no saldo de radiação das plantas que resulta do balanço energético, é usualmente utilizado como variável para a estimativa da demanda hídrica disponível (MARCHIORI, 2004). A medida que a água torna-se limitante, a transpiração é reduzida e, em consequência, ocorre aumento da temperatura foliar pela absorção da radiação solar incidente (JACKSON, 1982).

A temperatura das plantas atua como um bom indicador do status hídrico da planta, sendo uma variável fundamental para monitorar o estresse de água das plantas (WANG et al., 2010). Em condições de altas temperaturas foliares e disponibilidade hídrica limitante, as plantas respondem ao estresse hídrico com o fechamento estomático e minimizam suas perdas de água para a atmosfera. A avaliação da temperatura do dossel vegetativo torna-se uma ferramenta essencial no monitoramento do Índice de Estresse Hídrico das Culturas (*Crop Water Stress Index* – CWSI), proposto por Idso et al., (1981) e Jackson (1982), no qual baseia-se em correlacionar a diferença temperatura do dossel vegetativo, a temperatura do ar e o

déficit de pressão de vapor que produz relações lineares específicas, independentemente de outros elementos ambientais (IDSO et al., 1981). Este método possibilita encontrar de forma prática o índice de estresse hídrico diário (IEHD) para a cultura de cana-de-açúcar, nas diferentes exposições superficiais e declividades do terreno, de acordo com cada período de desenvolvimento da cultura. E com base em modelos apresentados por Garcia, (2000), Silva et al. (2008) e Mazaron (2013), para cana-de-açúcar e outras culturas irrigadas.

Segundo dados apresentados pelo IEA (2015) e CTC (2015), o estresse hídrico na safra de 2013/2014, provocou danos severos a cultura de cana-de-açúcar, chegando a registrar quedas maiores que 25% na produtividade, Figura 2. Essa queda se deve a áreas que mais sofreram por conta da falta de chuvas e o aumento das temperaturas médias máximas das quais registraram aumento de 5,5% em relação as safras anteriores.



**FIGURA 2.** Queda de produtividade da cana-de-açúcar devido ao estresse hídrico, Estado de São Paulo, Safra 2013/14. Fonte: adaptado de IEA, 2015.

A utilização de índices de estresse hídrico somente tornou-se possível com o advento da termometria infravermelha, um método da qual possibilita a medição da temperatura da porção superior do dossel vegetativo sem a necessidade de contato físico com as folhas. O valor obtido corresponde à média da temperatura medida dentro do campo de visada do sensor. Radiômetros que operam na faixa do infravermelho são comumente utilizados na medição de temperaturas nesta faixa de energia radiativa e são chamados de termômetros a infravermelho, já que são

projetados para estimar a temperatura da superfície, sendo minimamente influenciados pela intervenção atmosférica. (CAMPBELL; NORMAN, 1998). A temperatura relativa de um alvo é obtida pelo sensor que capta uma amostra da radiação térmica infravermelha, convertendo-a em um sinal elétrico, cuja voltagem é proporcional à radiação captada, emitida pela folha, caracterizando-se por estar composta principalmente pela parte infravermelha do espectro, e sua magnitude depende da temperatura (SANMARTIN; ACEVEDO, 2001; WANJURA; UPCHURCH, 1991; FERNANDES, 2010).

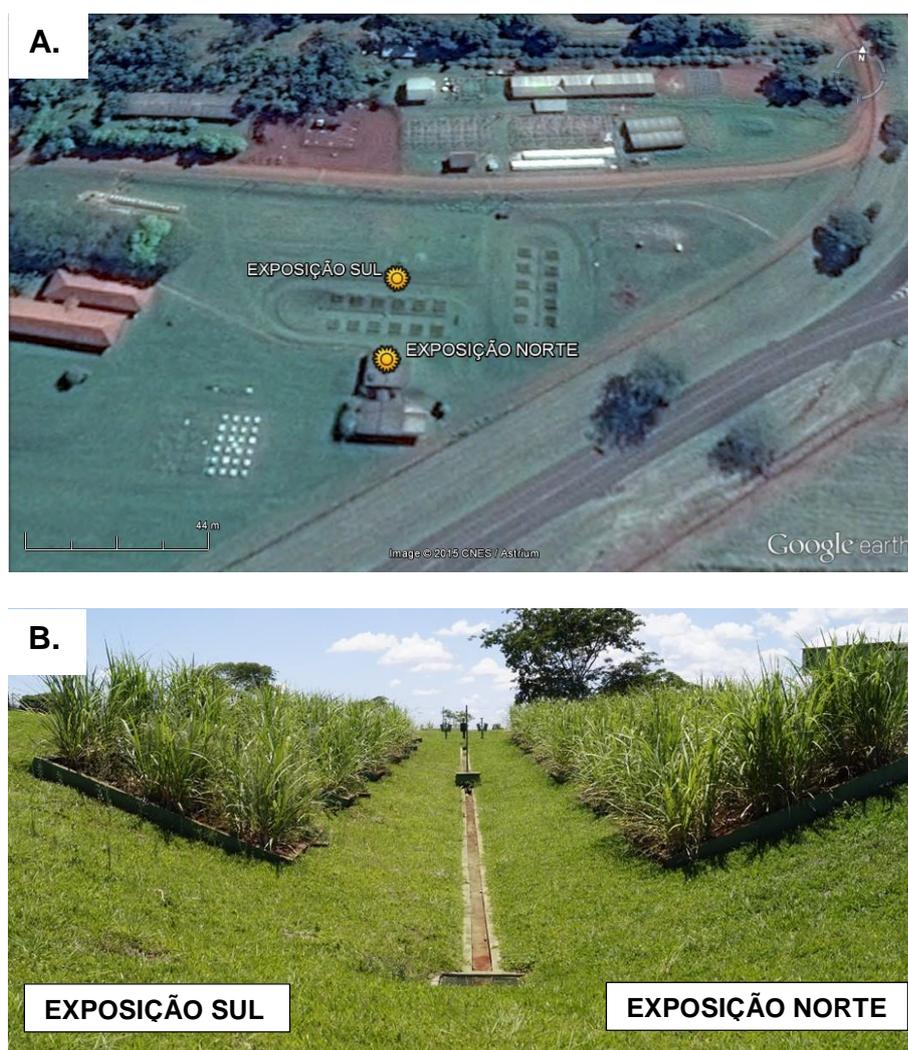
No início dos anos 70, com o desenvolvimento de termômetros a infravermelho (TIV) portáteis e de baixo custo, foram acrescentadas pesquisas sobre o uso de sensores remotos para medição da temperatura do dossel vegetativo, utilizadas em estudos de relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera (TRENTIN et al., 2011). Sendo uma ferramenta de fácil utilização e rápida resposta na detecção da ocorrência de estresse hídrico. Lebourgeois et al., (2010) e Batalha, (2011), discutem o surgimento de numerosos índices de estresse hídrico que ao longo do tempo foram desenvolvidos com o aparecimento de sensores a infravermelho. Porém estes índices levam em consideração diversos fatores intrínsecos e condições meteorológicas específicas, necessitando de uma grande quantidade de tempo, excessiva mão-de-obra e onerosos aparatos tecnológicos por parte do produtor rural, para a determinação dos dados nas condições de campo.

As principais vantagens da termometria infravermelha, sobre técnicas convencionais de detecção do estresse hídrico (sintomas visuais, condutância estomática, fluxo de seiva, balanço de água no solo), são a facilidade e a rapidez com que as medidas de temperatura do dossel vegetativo podem ser obtidas. Stockle e Dugas (1992), observaram que quando uma cultura como a cana-de-açúcar começa a sofrer estresse por falta de água, a condutância dos estômatos e a troca de calor latente são reduzidas, o efeito de resfriamento da evaporação diminui e as folhas apresentam-se com maior temperatura em relação a uma cultura não estressada. Esta diferença na temperatura do dossel vegetativo pode ser facilmente captada com o uso da termometria a infravermelho, e posteriormente utilizada como ferramenta para o manejo da irrigação.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi desenvolvida em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP, situada a  $21^{\circ} 14' 05''$  de latitude Sul,  $48^{\circ} 17' 09''$  de longitude Oeste e altitude de 613,68 m, em uma estrutura denominada “Bacia Hidrográfica Experimental”, Figura 3 A e B, descrita com detalhes por Turco et al., (1997).



**FIGURA 3.** Bacia Hidrográfica Experimental, Jaboticabal-SP. Foto: Google Earth, 2015 (A) e Rodrigo Garcia Brunini, 2014 (B).

As superfícies foram preenchidas com solo convenientemente homogeneizado do tipo latossolo vermelho escuro, eutrófico, A moderado, caulínítico, hipoférrico, textura argilosa, relevo suave ondulado. O clima de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cwa, precipitação média anual de 1.400 mm, temperatura média anual de 22 °C e umidade relativa média do ar de 70% (ANDRIOLI; CENTURION, 1999). Nessa estrutura, o experimento foi realizado no período de 01/08/2014 a 07/04/2015 (abrangendo as fases de perfilhamento, crescimento e maturação da cultura), na qual foram utilizadas seis superfícies que simulam terrenos com exposições e declividades caracterizadas como HI (horizontal irrigada), HNI (horizontal não irrigada), 20N (20% de declividade, exposição norte irrigada), 20S (20% de declividade, exposição sul irrigada), 40N (40% de declividade, exposição norte irrigada) e 40S (40% de declividade, exposição sul irrigada). Foi cultivada a variedade de cana-de-açúcar RB855453.

### **3.2. DADOS METEOROLÓGICOS**

Os dados meteorológicos referentes ao período de implantação e condução do experimento foram fornecidos pela Estação Meteorológica Automatizada da marca *Davis Instruments* do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP. Abrangendo as estações do ano e o ciclo da cultura de cana-de-açúcar. A estação encontra-se equipada com um sistema de aquisição de dados (*Vantage Pro Plus Wireless*), onde foi medida: a radiação solar global (sensor *Standart*- modelo 6450); a temperatura umidade relativa do ar (sensor externo – modelo 7859); a velocidade do vento (anemômetro *Standart* – modelo 7911), e a precipitação pluviométrica (pluviômetro – modelo 7852, *Rain Collector*).

### 3.3. MANEJO DA IRRIGAÇÃO

No centro de cada superfície, três tensiômetros foram instalados a 20 cm e a 40 cm de profundidade, respectivamente, para monitorar o comportamento do potencial de água no solo. A quantidade de água aplicada em cada superfície foi em função dos valores da Evapotranspiração ( $ET_0$ ), obtidos pelo método de *Penman-Monteith* (Allen et al., 1998). Os valores foram corrigidos para cada superfície segundo a metodologia descrita por Turco et al., (2012), que analisou e correlacionou o saldo de radiação incidente em diferentes superfícies, ajustando o modelo de *Penman-Monteith* para cada situação proposta de acordo com o coeficiente da cultura ( $K_c$ ) de cana-de-açúcar, Tabela 2.

**TABELA 2.** Valores do coeficiente da cultura de cana-de-açúcar ( $K_c$ ) descrito por Doorenbos e Kassam (1994).

Período de desenvolvimento	Dias do ciclo	Coeficiente ( $K_c$ ) da cultura
Do plantio até 25% de cobertura	30 a 60 dias	0,40 a 0,60
De 25 a 50% de cobertura	30 a 40 dias	0,75 a 0,85
De 50 a 75% de cobertura	15 a 25 dias	0,90 a 1,00
De 75% a cobertura completa	45 a 55 dias	1,00 a 1,20
Utilização máxima	180 a 330 dias	1,05 a 1,30
Início da senescência	30 a 150 dias	0,80 a 1,05
Maturação	30 a 60 dias	0,60 a 0,75

A irrigação, do tipo gotejamento, em cada superfície foi realizada por meio da instalação de seis mangueiras de 3,5 m de comprimento, com gotejadores a cada 20 cm, em toda a sua extensão. O conjunto possuía uma vazão de  $90 \text{ L h}^{-1}$ . A irrigação foi efetuada em cada superfície quando a umidade do solo atingia o valor de capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ), mantendo o solo em cerca de 25% de umidade (Faria et al., 2012).

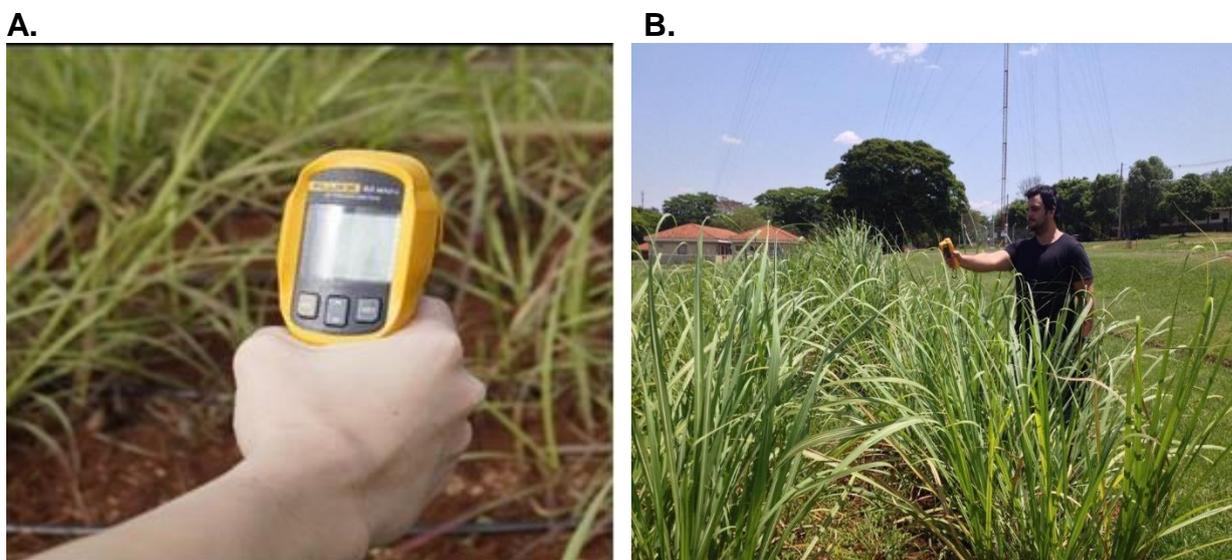
### 3.4. COLETA DE SOLO

Foram coletadas amostras de solo das superfícies a cada sete dias, nas profundidades de 0,20 m e 0,40 m, utilizando o método gravimétrico (NBR 06457,

1986). Que consiste em obter a massa de água das amostra em laboratório na pesagem da mesma e a massa do solo seco (método padrão de estufa).

### 3.5. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO DIÁRIO DAS PLANTAS - IEHD

Para avaliar o IEHD da cana-de-açúcar em cada superfície, foram feitas medições diárias, entre 11 e 13 h, efetuando-se 10 leituras em cada parcela, com a medição da temperatura da cobertura vegetal e da temperatura do ar ambiente, ao mesmo tempo, com o uso do termômetro de infravermelho, portátil, FLUKE, modelo 62 MAX, e do termômetro de mercúrio (precisão  $\pm 0,1$  °C), respectivamente (FERNANDES, 2010). Em dias de precipitações, ocorrência de vento forte, e ou tempo nublado, as leituras foram evitadas, Figuras 4 A e B.



**FIGURA 4.** Termômetro infravermelho portátil, FLUKE, modelo 62 MAX (A) e determinação do índice de estresse hídrico diário das plantas.

Para o cálculo do IEHD efetuou-se a diferença entre as temperaturas médias da cobertura vegetal e a temperatura do ar conforme Jackson; Reginato e Idso (1977), que propuseram a seguinte equação:

$$\text{IEHD} = T_c - T_a \quad (1)$$

em que,

IEHD – Índice de Estresse Hídrico Diário, em °C;

Tc – temperatura da cobertura vegetal, em °C; e

Ta – temperatura do ar, em °C.

Valores positivos do IEHD indicam que a cultura encontra-se em estresse (FERNANDES, 2010).

A fim de evitar erros amostrais, as leituras foram efetuadas com o sensor do aparelho posicionado em direção oposta ao sol, e o ângulo de inclinação de aproximadamente 30° com a horizontal (FERNANDES et al., 2001). A calibração do termômetro de infravermelho foi realizada no Laboratório de Instrumentação, Aquisição e Processamento (LIAP), do Departamento de engenharia Rural da FCAV/UNESP, utilizando-se um Banho Maria para Laboratório e fazendo-se variar sua temperatura de 0 - 60°C. A temperatura da água era lida com termômetro de mercúrio de fundo de escala de 60°C, precisão  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  e com o termômetro infravermelho, simultaneamente, Figura 5. Com os valores obtidos efetuou-se uma correlação entre a temperatura do termômetro infravermelho e a do termômetro de mercúrio, corrigindo-se os valores obtidos após cada leitura efetuada no campo.



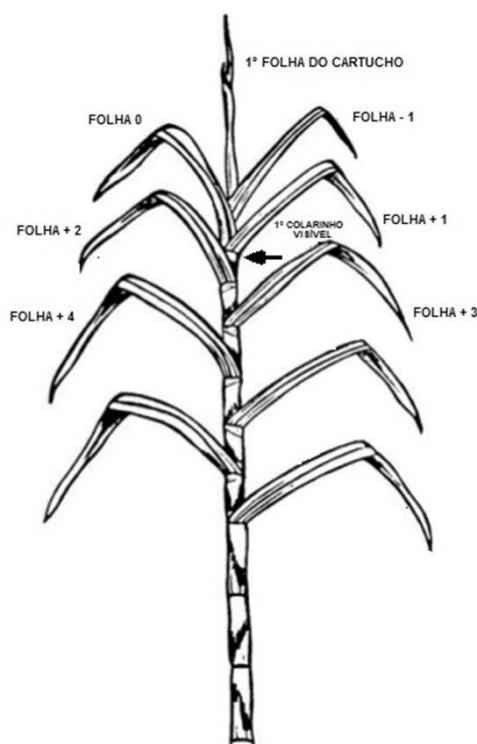
**FIGURA 5.** Calibração do termômetro de infravermelho. Laboratório de Instrumentação, Aquisição e Processamento (LIAP).

Caso as amostragens fossem realizadas imediatamente após cada irrigação ou precipitação, o valor acumulado do índice de estresse hídrico seria considerado zero, devido às condições hídricas do solo serem favoráveis a cultura (BAVARESCO,1995).

### 3.6. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DA CULTURA

As avaliações foram realizadas a 219, 235, 258, 307 e 336 DAP (dias após o corte) na linha central de todas as superfícies em três plantas, com três repetições, abrangendo os estádios fenológicos, crescimento e maturação da cultura, e suas variações no decorrer do período. Foi utilizado como bordadura a primeira linha em cada lateral e 0,50 m na entrada da linha analisada.

A escolha da folha a ser usada na mensuração, seguiu sistema de numeração proposto por Kuijper (1915), Figura 6, que consiste em designar como +1 a primeira folha de cima para baixo, que se apresenta inserida com a aurícula (colarinho) bem visível. As folhas de baixo passariam a receber a numeração +2, +3, etc.



**FIGURA 6.** Sistema de numeração de folhas, Kuijper (1915).

O crescimento da cultura no período foi observado através das variáveis; (i) altura da planta, em cm, medida com uma régua graduada em centímetros e metros, da base até a folha + 1, (ii) diâmetro do colmo, em mm, medido com paquímetro digital, abaixo da folha +1, e (iii) área foliar, mensurada a folha +3 segundo metodologia descrita por Hermann e Câmara (1999).

Ao final do experimento foi realizada a colheita no dia 08/04/2015, todas as plantas foram pesadas e a produtividade calculada através do peso total por metro em três repetições. Os valores foram estimados para um hectare. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F seguido da aplicação do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Tabela 3 apresenta as lâminas d'água mensal recebidas em cada tratamento e a precipitação, em seus respectivos meses de ocorrência. A quantidade total de água recebida das chuvas ocorridas foi de 882,3 mm, fato que possibilitou o desenvolvimento da cultura no tratamento HNI. Nota-se que as superfícies 20 e 40N, apresentaram as maiores quantidades de lâmina d'água pela irrigação, enquanto que a superfície 40S apresentou a menor quantidade de lâmina d'água pela irrigação, diferindo da superfície HI. As superfícies 20 e 40S receberam respectivamente 79,3 e 61,1%, da lâmina total de água aplicada na superfície HI, enquanto que as superfícies 20 e 40N receberam em média cerca de 9,2% a mais de água na lâmina aplicada. Esse fato se deve a evapotranspiração, distinta em cada uma das superfícies, devido a sua exposição e declividade que receberam quantidade de radiação solar diferente. Superfícies com exposições Norte receberam mais radiação ao longo do experimento do que as superfícies com exposições Sul, Tabela 4.

**TABELA 3.** Lâmina d'água mensal recebida pela cultura em cada tratamento e a precipitação em mm, ocorridas durante o desenvolvimento do experimento. Jaboticabal, SP, 2014/2015.

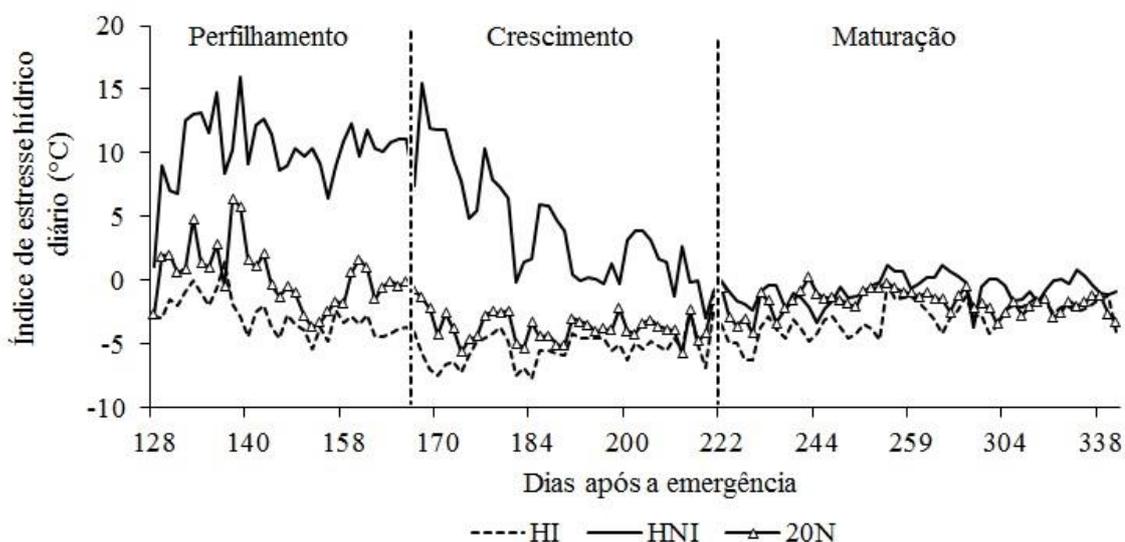
Data	HNI	HI	20N	20S	40N	40S	Precipitação
	(mm)						
Março	-	-	-	-	-	-	-
Abril	-	-	-	-	-	-	-
Maio	-	52,85	61,91	35,14	67,72	22,72	5,40
Junho	-	79,52	92,11	54,92	100,18	37,66	1,60
Julho	-	65,76	76,99	43,82	84,18	28,43	26,20
Agosto	-	124,65	144,08	86,70	156,52	60,07	1,00
Setembro	-	93,03	107,56	63,41	116,31	45,34	39,40
Outubro	-	137,98	137,55	123,81	130,31	119,83	38,40
Novembro	-	44,80	41,18	35,08	41,64	23,85	150,00
Dezembro	-	65,67	65,46	58,64	61,86	56,66	117,80
Janeiro	-	59,92	59,74	83,17	56,61	52,08	76,40
Fevereiro	-	26,31	26,20	22,79	24,40	21,79	223,50
Março	-	30,75	19,45	13,10	32,74	10,29	149,20
Abril	-	9,35	10,80	6,51	11,74	4,51	53,40
Total	-	790,59	843,03	627,08	884,20	483,23	882,30

Segundo Gouvêa (2008), a disponibilidade de água para a cana-de-açúcar é o principal fator climático causador da variabilidade da produtividade. Observando os dados da Tabela 3, nota-se que durante os meses iniciais de crescimento da cana-de-açúcar houve limitações da precipitação pluvial no ano de 2014 para a região, concordando com dados apresentados pelo IEA, (2015). A falta de água para a cultura no período de perfilhamento afeta os tecidos imaturos da planta e acaba prejudicando os processos de armazenamento de açúcar. Para Holanda et al., (2015), Barbosa et al., (2012) e Carvalho et al., (2009), o uso da irrigação complementar na cana-de-açúcar vem sendo utilizada cada vez mais pelos produtores devido à queda na produção, seja em regiões semiáridas ou em períodos de intenso estresse hídrico.

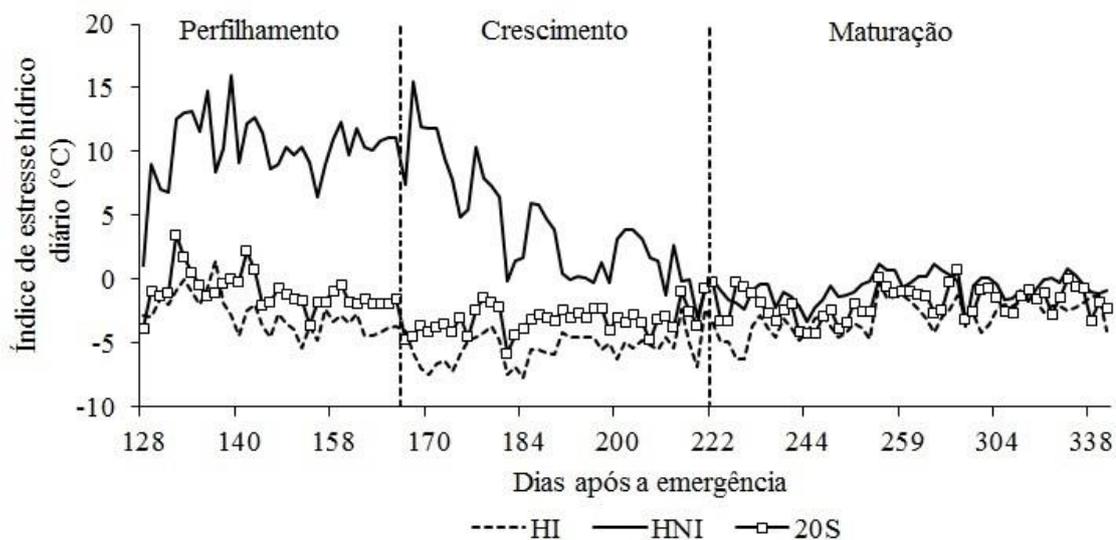
Nas Figuras 7, 8, 9 e 10 é possível observar os dados médios de IEHD, para os tratamentos, verificando-se que dos 128 aos 166 d.a.e (dias após a emergência), fase de perfilhamento, todos os tratamentos apresentaram valores de IEHD positivos no período compreendido, sendo que a superfície HNI apresentou o maior valor (15,9 °C), seguida da superfície 20N (6,4 °C), Figura 7, e 40N (5,2 °C), Figura 9. A superfície HI apresentou o menor valor (1,5 °C). O valor do IEHD reflete as características fisiológicas das plantas em relação ao ambiente. Observa-se que ocorre uma relação entre o valor do IEHD e a evapotranspiração da cultura, pois as superfícies que apresentaram valores de IEHD acima de 5°C na fase de perfilhamento exigiram uma quantidade de lâmina d'água maior para manter o solo na condição de capacidade

campo, refletindo assim no momento de irrigar. É importante salientar que a fase de perfilhamento sofre influência da temperatura e umidade do solo, e segundo Bezuidenhout et al. (2003), o estresse hídrico pode causar redução na emissão de novos perfilhos, devido a deficiência hídrica cessar a divisão celular impedindo a diferenciação e o crescimento dos tecidos que darão origem às novas estruturas dos perfilho.

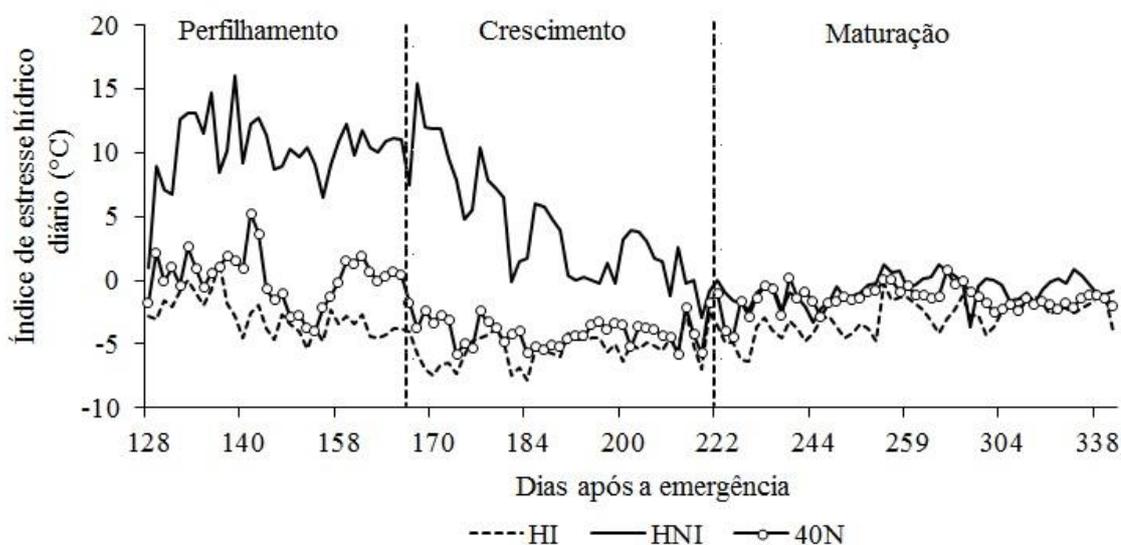
A partir dos 170 d.a.e as superfícies, à exceção da HNI (IEHD acima dos 15°C), apresentaram valores negativos até aos 222 d.a.e, (fase de crescimento) e após os 222 até os 340 d.a.e (fase de maturação), ocorreram pequenos aumentos, em média de 1,2 °C do IEHD, nas superfícies HNI, 20S e 40N, Figuras 8 e 9. O desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar durante as fazes de crescimento e maturação proporciona o “fechamento” do dossel, isso significa dizer que as plantas de cana acabam realizando o sombreamento umas das outras e como consequência indicando que diminuiu a evapotranspiração diária da cultura, devido à temperatura da cobertura vegetal estar abaixo da temperatura do ar.



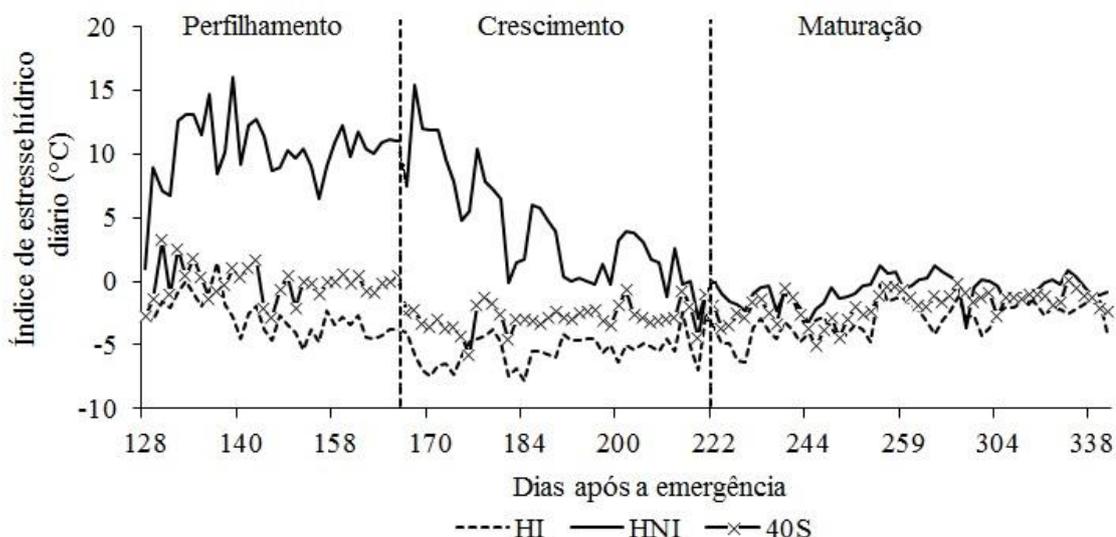
**FIGURA 7.** Valores do índice de estresse hídrico diário, em °C, para os tratamentos HI, HNI e 20N (. Jaboticabal, SP, 2014/2015



**FIGURA 8.** Valores do índice de estresse hídrico diário, em °C, para os tratamentos HI, HNI e 20S. Jaboticabal, SP, 2014/2015.

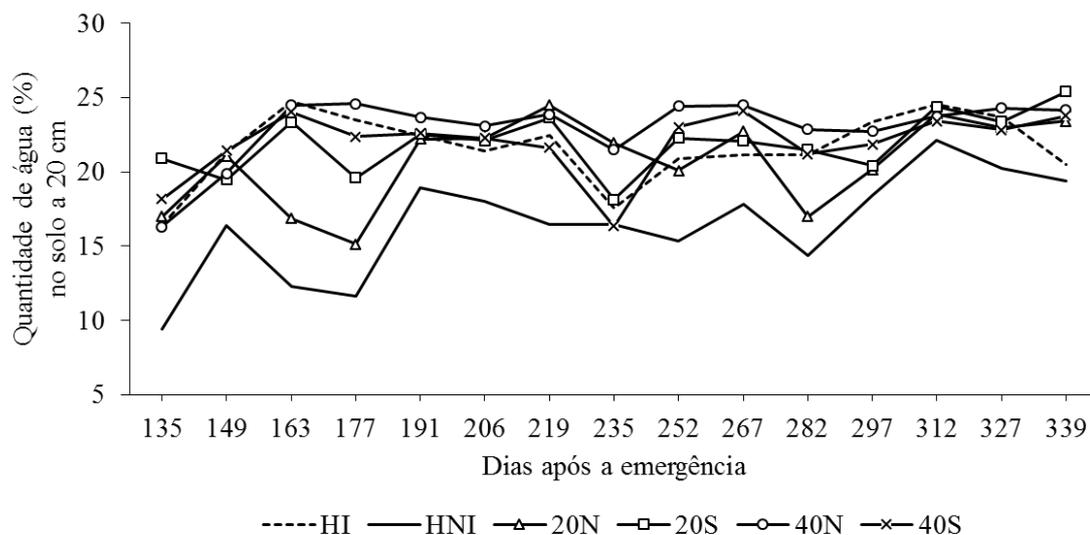


**FIGURA 9.** Valores do índice de estresse hídrico diário, em °C, para os tratamentos HI, HNI e 40N. Jaboticabal, SP, 2014/2015.

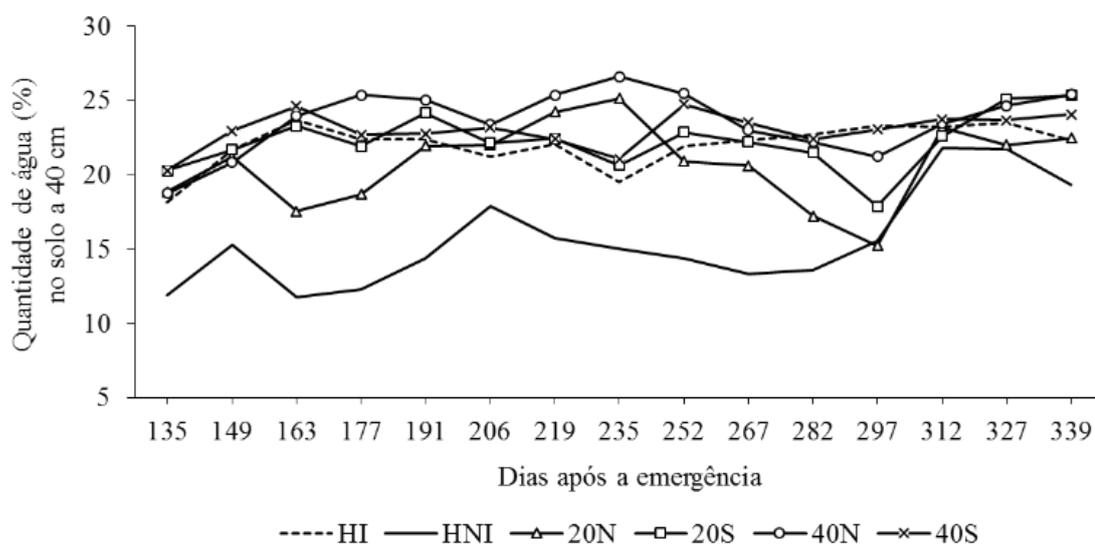


**FIGURA 10.** Valores do índice de estresse hídrico diário, em °C, para os tratamentos HI, HNI e 40S. Jaboticabal, SP, 2014/2015.

Segundo dados apresentados pelo IEA, (2015) e CTC, (2015), o estresse hídrico na safra de 2013/2014, provocou danos severos a cultura de cana-de-açúcar, chegando a registrar quedas maiores que 25% na produtividade. Essa queda se deve às áreas que mais sofreram por conta da falta de chuvas e o aumento das temperaturas médias máximas, das quais registraram aumento de 5,5% em relação às safras anteriores. Nas Figuras 11 e 12 para os resultados obtidos, nesse período, a superfície HNI apresenta os menores valores de água disponível no solo abaixo de 20% de umidade nas camadas de 20 cm e 40 cm. De acordo com (OLIVEIRA; BRAGA; SANTOS, 2014), a disponibilidade de água no solo afeta diretamente o sistema radicular das plantas e seu desenvolvimento ao longo do ciclo produtivo. Na Tabela 4 observa-se que a superfície HNI obteve os maiores valores máximos da temperatura da cobertura vegetal, chegando a atingir 53,3 °C, devido ao estresse hídrico da cultura. Este aumento na temperatura tem ligação direta entre as relações fisiológicas e o crescimento celular da planta (MANHÃES et al., 2015).



**FIGURA 11.** Quantidade de água disponível no solo, a 20 cm, dos tratamentos HI, HNI, 20N, 20S, 40N e 40S no período. Jaboticabal-SP, 2014/2015.



**FIGURA 12.** Quantidade de água disponível no solo, a 40 cm, dos tratamentos HI, HNI, 20N, 20S, 40N e 40S no período. Jaboticabal-SP, 2014/2015.

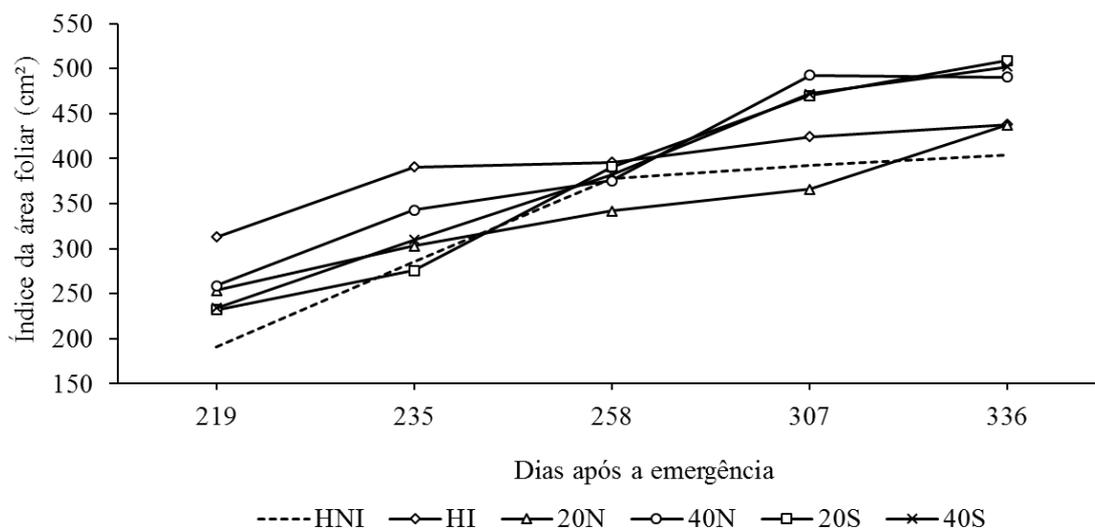
As superfícies 20 e 40N, Tabela 4, também apresentaram valores máximos da temperatura da cobertura vegetal durante a fase de perfilhamento, atingindo 40,5 e 36,5 °C respectivamente, além das condições climáticas, este fato pode ser explicado pela sua exposição Norte em relação ao sol, pois estão sujeitas a maiores quantidades de radiação solar 8248,2 e 8329,3 MJ m<sup>-2</sup> Ano<sup>-1</sup> respectivamente, ao longo do ano. A superfície 20S foi a que apresentou menor valor de temperatura durante a fase de perfilhamento da cultura (tabela 4) e de acordo com Jadoski et al., (2010), o

perfilhamento da cana-de-açúcar é afetado diretamente pela umidade do solo, luminosidade e temperatura, aumentando até um máximo de 30,0 °C.

**TABELA 4.** Temperatura máxima da cobertura vegetal, em °C, dos tratamentos HI, HNI, 20N, 20S, 40N e 40S nas fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar e a Radiação Solar Global incidente acumulada, em MJ m<sup>-2</sup> Ano<sup>-1</sup>. Jaboticabal, SP, 2014/2015.

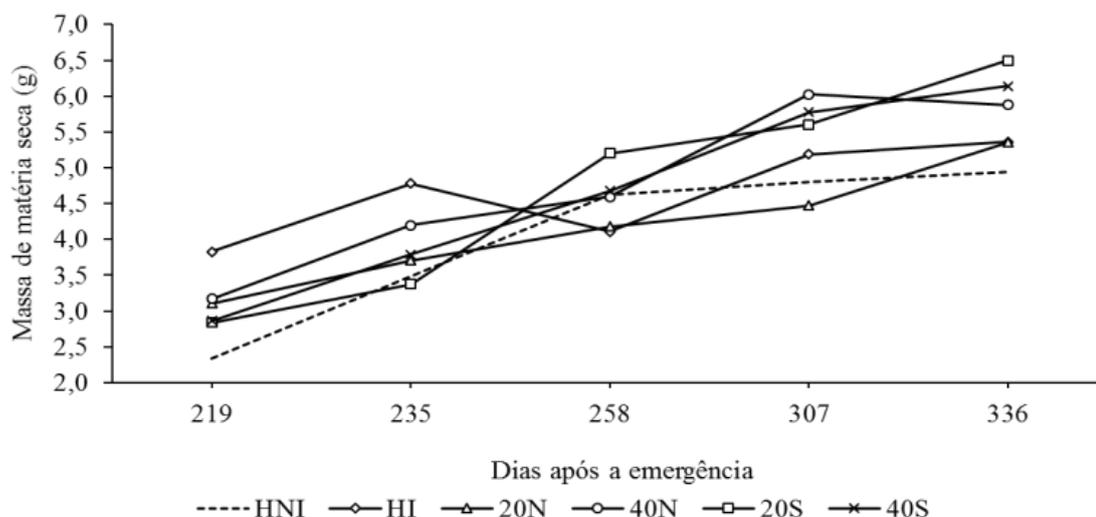
Fase de desenvolvimento	HNI	HI	20N	20S	40N	40S
	(°C)					
Perfilhamento	48,7	35,9	40,8	34,3	36,5	35,6
Crescimento	53,3	33,2	37,6	35,0	36,3	35,8
Maturação	35,0	32,6	33,5	33,1	33,4	32,9
Radiação acumulada	(MJ . m <sup>-2</sup> . Ano <sup>-1</sup> )					
Total	7686,6	7686,6	8248,2	6921,0	8329,3	6013,7

Na Figura 13, observa-se os dados do Índice de área foliar (em cm<sup>2</sup>), dos 219 d.a.e até os 336 d.a.e as superfícies HNI e 20N apresentaram os menores valores de desenvolvimento (404,0 e 437, 5 cm<sup>2</sup>, respectivamente), enquanto que a superfície 20S atingiu o maior valor (509,0 cm<sup>2</sup>). Já as superfícies HI, 40N e 40S não apresentaram diferenças significativas entre seus valores de desenvolvimento ao longo de todo o período atingindo (Tabela 5). Uma menor área foliar acaba prejudicando a planta na captação da radiação solar, pois de acordo com Machado, Camargo e Fahl (1985), a quantidade e qualidade da radiação disponível dentro do dossel afetam os processos fisiológicos das plantas, tendo influência direta em sua produção.



**FIGURA 13.** Valores do Índice da área foliar, em cm<sup>2</sup>, para os tratamentos HNI, HI, 20N, 20S, 40N e 40S. Jaboticabal, SP, 2014/2015.

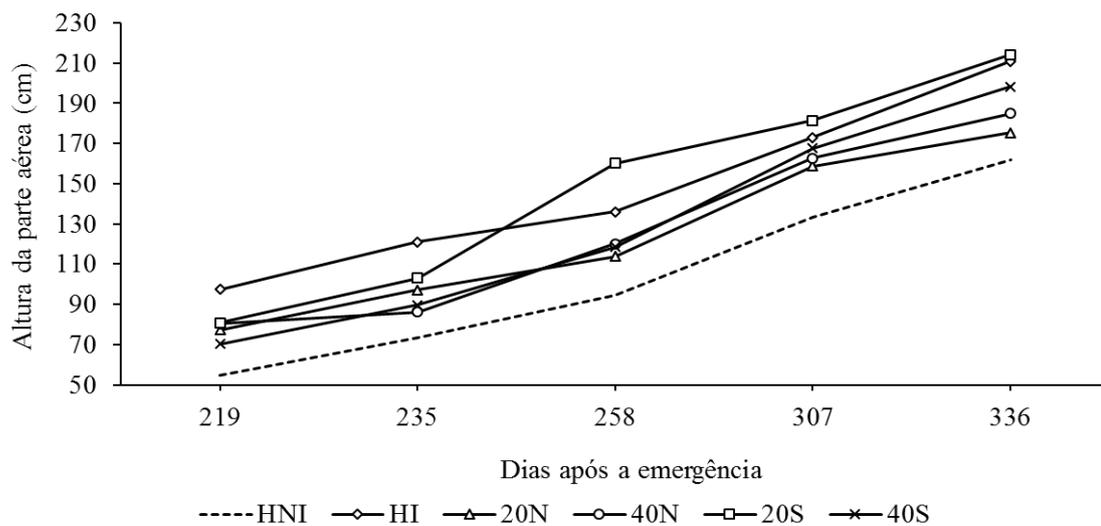
Segundo a Figura 14 e a Tabela 5, para os valores de massa de matéria seca (em gramas), a superfície com menor acúmulo da massa de matéria seca das folhas dos 219 aos 336 d.a.e foram a HNI e 20N (4,9 g, respectivamente), seguida da superfície HI (5,4 g), e o maior acúmulo da massa de matéria seca ocorreu nas superfícies 20S, 40S e 40N (6,5, 6,1 e 5,9 g, respectivamente). O acúmulo de matéria seca pelo dossel de uma cultura é dependente, além do índice de área foliar, da energia solar incidente e da temperatura do ar (VAN HEEMST, 1986), tendo função de expressar em seu crescimento o resultado do metabolismo da planta sob o efeito de condições ambientais adversas, pois determinando-se a quantidade de massa de matéria seca de uma planta é possível estimar sua taxa de crescimento em determinados períodos, podendo auxiliar na seleção das práticas culturais, como a escolha das melhores épocas de colheita e de plantio (HOLANDA et al., 2015).



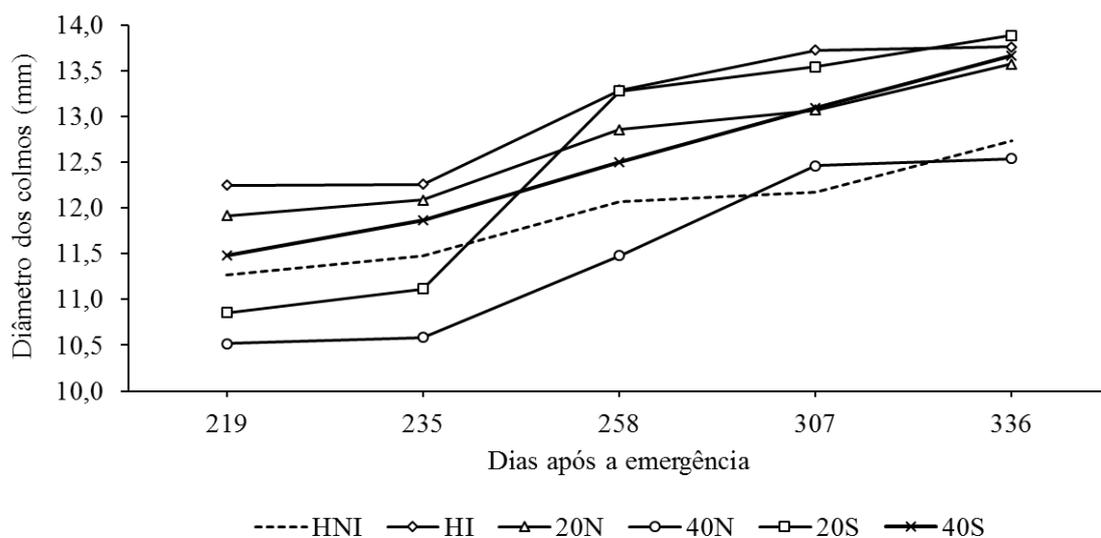
**FIGURA 14.** Valores da Massa de matéria seca, em gramas, para os tratamentos HNI, HI, 20N, 20S, 40N e 40S. Jaboticabal, SP, 2014/2015.

Na Figura 15, observa-se os valores da altura da parte aérea (em mm), durante o período de coleta dos dados. A superfície 20S durante o período de desenvolvimento obteve o maior valor de altura da parte aérea (214,1 cm), seguida da superfície HI (210,9 cm) e diferente da superfície HNI que apresentou o menor valor (162,0 cm), Figura 15 e Tabela 5.

Segundo a Figura 16, para os valores de diâmetro dos colmos, observa-se que a superfície HI apresentou o maior valor (13,8 mm), para o período de coleta dos dados, seguido das superfícies 20N, 20S e 40S (13,7, 13,6 e 12,7 mm, respectivamente). Já as superfícies HNI e 40N apresentaram os menores valores (12,5, e 12,6 mm, respectivamente), para o mesmo período de coleta de dados, (Tabela 5). A altura das plantas e o diâmetro dos colmos são importantes indicadores no estudo do crescimento, da atividade metabólica, taxa fotossintética e acúmulo de sacarose da planta, tendo os colmos como principais funções a sustentação das folhas e das panículas, condução de água e nutrientes do solo às folhas e o armazenamento de açúcares (VALSECHI, 1983). Logo verifica-se que nos parâmetros de crescimento da cultura de cana-de-açúcar para o período de coleta de dados, a superfície 20S se destacou apresentando maior quantidade de valores relevantes, quando comparada as demais superfícies analisadas.



**FIGURA 15.** Valores da Altura da parte aérea, em cm, para os tratamentos HNI, HI, 20N, 20S, 40N e 40S. Jaboticabal, SP, 2014/2015.



**FIGURA 16.** Valores do Diâmetro dos colmos, em mm, para os tratamentos HNI, HI, 20N, 20S, 40N e 40S. Jaboticabal, SP, 2014/2015.

**TABELA 5.** Médias da Área foliar; Massa de matéria seca; Altura da planta e Diâmetro do colmo, para as superfícies estudadas durante o período.

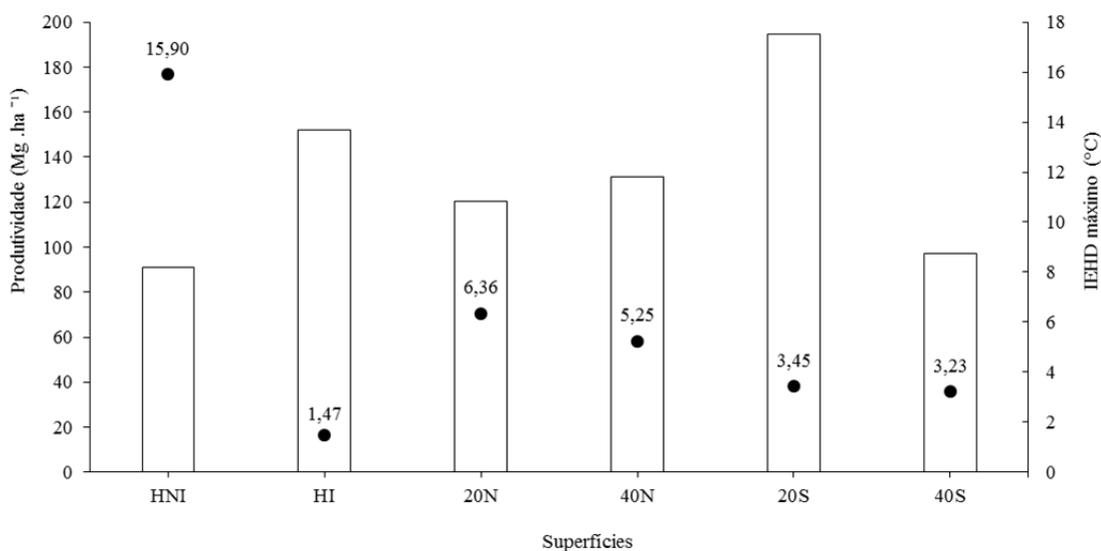
Superfícies	Área Foliar*	Massa de matéria seca**	Altura da planta***	Diâmetro do colmo****
	(cm <sup>2</sup> )	(g)	(cm)	(mm)
Declividade - 0% Irrigado	431,0 b	5,3 b	192,0 b	13,1 a
Declividade - 0% Não irrigado	395,3 c	4,9 c	147,6 d	11,9 c
Norte - 20%	389,7 c	4,9 c	167,1 c	12,7 ab
Sul - 20%	474,7 a	6,1 a	197,8 a	12,7 ab
Norte - 40%	432,2 b	6,0 a	173,9 c	11,5 c
Sul - 40%	442,2 b	6,0 a	182,9 c	12,1 b

Médias seguidas de letras distintas, diferem entre si, pelo teste de Tukey (P < 0,05). \*C.V.= 5,5%. \*\*C.V.= 7,0%. \*\*\*C.V.= 6,5%.

\*\*\*\*C.V.= 6,6%.

De acordo com a Figura 17 e a Tabela 6, observa-se os dados de produtividade média da cana-de-açúcar em megagramas por hectare (Mg ha<sup>-1</sup>), e sua relação com o IEHD máximo ocorrido no período em °C, para cada superfície. Verifica-se que o maior valor encontrado para as médias de produtividade foi da superfície 20S (194,5 Mg ha<sup>-1</sup>), seguida da superfície HI (152,0 Mg ha<sup>-1</sup>), estas superfícies apresentaram valores de IEHD máximo de 3,5 e 1,5 °C, respectivamente. Enquanto que as superfícies HNI e 40S foram as que obtiveram o menor valor produtivo e valores de IEHD máximo no período de 15,9 e 3,2 °C, respectivamente. Não houve diferença significativa entre as produtividades das superfícies HNI e 40S. As superfícies 20 e 40N que as evapotranspirações diárias foram maiores apresentaram valores de produtividade de 120,0 e 131,0 Mg ha<sup>-1</sup> e seus valores de IHED máximo no período foi de 6,4 e 5,3 °C respectivamente. Não houve diferença significativa entre as produtividades das superfícies 20 e 40N. Para a superfície 40S, mesmo tendo recebido a mesma lâmina d'água de acordo com seu ET<sub>0</sub>, seu valor de produtividade foi de 97,0 Mg ha<sup>-1</sup>, com valor máximo de IHED de 3,2 °C apontando que essa superfície é mais suscetível ao IEHD, as variações climáticas na fase de perfilhamento e a quantidade de radiação incidente que de acordo com a Tabela 4 foi a menor entre as demais superfícies (6013,7 /MJ m<sup>-2</sup> Ano<sup>-1</sup>). Sendo que a fase de perfilhamento sofre maior influência da temperatura e luminosidade.

De acordo com estes resultados é possível verificar os dados de Temperatura média e/ou estabelecer um valor para cada situação e auxiliar futuramente no manejo da irrigação em cada condição regional, tendo em vista que a evapotranspiração é diferente em cada região.



**FIGURA 17.** Produtividade de cana-de-açúcar, em Mg ha<sup>-1</sup> e IEHD máximo, em °C, nas superfícies estudadas. Jaboticabal, SP, 2014/2015.

**TABELA 6.** Produtividade média de cana-de-açúcar (Mg ha<sup>-1</sup>), Jaboticabal, SP, 2014/2015.

Superfícies	Produtividade Média
	(Mg ha <sup>-1</sup> )
Declividade - 0% Irrigado	152,0 b
Declividade - 0% Não irrigado	91,0 d
Norte - 20%	120,5 c
Sul - 20%	194,5 a
Norte - 40%	131,0 c
Sul - 40%	97,0 d

\*Médias seguidas de letras distintas, diferem entre si, pelo teste de Tukey (P < 0,05). C.V.= 8,4%.

## 5. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o índice de estresse hídrico diário varia com a declividade e exposição da superfície que está plantada a cana-de-açúcar, ou seja, quando o IEHD for positivo o momento de irrigar é diferente para cada superfície, para que não ocorra déficit hídrico.

As superfícies com IEHD acima de 5,0 °C tendem a apresentar valores produtivos menores.

A presença de irrigação na superfícies HI mostrou-se eficiente em alterar a produtividade em relação a superfície HNI.

A superfície não irrigada apresentou estresse hídrico.

A superfície com 20% de declividade e exposição Norte, apresentou menor valor produtivo do que a superfície com 20% de declividade e exposição Sul.

O desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar (variedade RB 855453) foi influenciado pela exposição e declividade do terreno.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology**. Amsterdam: Elsevier, 752p, 1973.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. **FAO: Rome**, v.300, n.9, p.D05109, 1998.

ALFONSI, R. R.; PEDRO JÚNIOR, M. J. BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas, fundação Cargill, v.1, p.42-55, 1987.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: congresso brasileiro de ciência do solo, Brasília, 1999. **Anais...** Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p.1-4.

AZEVEDO H. J., SILVA NETO, R., CARVALHO, A. M., VIANA, J. L., MANSUR, A. F. U. Uma Análise da Cadeia Produtiva de Cana-de-Açúcar na Região Norte Fluminense. Observatório Sócio - Econômico da Região Norte Fluminense – **Boletim Técnico no 6** – 51p., 2002.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 06457: preparação de amostras de solos para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro. 1986. Versão 2009.

AGRIANUAL - **Anuário estatístico da agricultura**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, p.239-242, 2015.

BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. Climatologia e a cana-de-açúcar. PLANALSUCAR. Coordenadoria Regional Sul. **COSUL, Araras**, v.1, n.1, p.1-22, 1977.

BARBOSA, E. A. A.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SILVA, T. J. A.; SAKAI, E. Cana-de-açúcar com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: Ciclo da cana-planta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.952-958, 2012.

BARBOSA, F. S.; COELHO, R. D.; MASCHIO, R.; LIMA, C. J. G. S.; SILVA, E. M. Drought resistance of sugar-cane crop for different levels of water availability in the soil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.34, n.2, p.203-210, 2014.

BATALHA, B. R. **Temperatura do dossel vegetativo da cana-de-açúcar sob diferentes condições meteorológicas e potenciais de água no solo**. 2011. Viçosa – MG. 142p. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

BAVARESCO, R. S. **Utilização do termômetro de infravermelho para determinação do estresse hídrico em cultura de soja irrigada**. 75p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal (SP), 1995.

BENINCASA, M. **Efeitos de rampas com diferentes declividades e exposições Norte e Sul de uma bacia hidrográfica sobre o microclima e produtividade biológica do *Sorghum bicolor* (L.) Moench**. Jaboticabal, 1976. 103 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1976.

BERDING, N.; MOORE, P. H. Advancing from opportunistic sexual recombination in sugarcane: Lessons from tropical photoperiodic research. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.**, v.24, p.482–487. 2001.

BEZUIDENHOUT, C. N.; O'LEARY, G. J.; SINGELS, A., BAJIC, V. B. A process-based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. **Agricultural Systems**, v.76, n.2, p.589-599, 2003.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A.C M. de; ANDRADE LANDELL, M. G. DE. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, p.205-218, 2008.

CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. **An introduction to environmental biophysics**, 2<sup>nd</sup> edn. New York: Springer. 1998.

CARAMORI, P. H.; ARITA, C. A. Evapotranspiração Potencial no Estado do Paraná segundo o método de Penman. **Boletim Técnico, IAPAR, Londrina**, n.25, p.5-21, 1988.

CANASAT. "**Monitoramento da Cana-de-Açúcar via satélite**". Página consultada em 23 de Junho de 2014, <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/cultivo.html>>.

CARVALHO, C. M.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. A.; SILVA, C. T. S.; GOMES FILHO, R. R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.1, p.72-77, 2009.

CATI - Secretaria de Agricultura e Abastecimento/ Coordenadoria de Assistência Técnica Integral/ Instituto de Economia Agrícola (SAA/ CATI/ IEA). **Projeto LUPA 1995 e 2014 (Dados não consolidados): Censo Agropecuário do Estado de São Paulo**. São Paulo: SAA/ CATI/ IEA, 2015.

CESAR, M. A. A.; DELGADO, A. A.; CAMARGO, A. P. de; BISSOLI, B. M. A.; SILVA, F. C. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. STAB: **Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.6, p.32-38, 1987.

COAN, R. M.; TURCO, J. E.; PIVETTA, K. F.; COSTA, M. N. D.; MATEUS, C. D. D'A. M. Emerald zoyzia grass development regarding photosynthetically active radiation in different slopes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.3, p.501-509, 2012.

COELHO, M. B.; BARBOSA, M. H. P.; MARCIEL, M. L. Manejo da irrigação na cana-soca no cerrado de Minas Gerais. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos

Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 8, 2002, Recife. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p.591-598.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar.** v.2, n.1, p.33. 2015.

CTC - Centro de Tecnologia Canavieira. **Revista Censo CTC: Safra 2013/2014 – Brasil,** v.1, n.1, p.16, 2015.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.10, n.2, p.283–288, 2006.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L.; GARCIA, C. J. B.; DUENHAS, L. H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga,** v.13, n.1, p.1-11, 2008.

DIAS, F. L. F. **Relação entre a produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na Região Noroeste do Estado de São Paulo.** Piracicaba, 1997. 64p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

DIAS, F. L. F.; MAZZA, J. A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R. F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.23, n.3, p.627-634, 1999.

DIOLA, V.; SANTOS, F. **Fisiologia.** Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e etanol-tecnologias e perspectivas, v.2, p. 25-49, 2010.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

FARIA, M. T.; TURCO, J. E.; FERNANDES, E. J.; GUIRRA, A. M. Resposta produtiva do feijoeiro comum a diferentes manejos de irrigação. **Irriga**, v.17, n.2, p.137-147, 2012.

FERNANDES, E. J. Determinação do índice de estresse hídrico em cultura do feijoeiro com termômetro de infravermelho. **Irriga**, v.15, n.3, p.248, 2010.

FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P. Utilização do CWSI na determinação de estresse hídrico em cultura de soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria**, v.9, n.2, p.347-355, 2001.

GARCIA, A. **Utilização da temperatura do dossel vegetativo na estimativa de índices de estresse, para a determinação da necessidade hídrica do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*)**. Jaboticabal, 2000. 135p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Universidade Estadual Paulista.

GAVA, G.J.C.; SILVA, M.A.; SILVA, R.C.; JERONIMO, E.M.; CRUZ, J.C.S.; KÖLLN, O.T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.250-255, 2011.

GEMENTE, A. C.; PINAZZA, A. H.; BRUGNARO, C.; GUIMARÃES, E.; OLIVEIRA NETO, G. R.; KRUGLIANSKAS, I.; SBRAGIA, R. Planejamento agrícola. In: BRUGNARO, C.; SBRAGIA, R. **Gerência agrícola em destilarias de álcool**. 2. ed. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1986. p.29-83 (Coleção PLANALSUCAR, 1).

GONÇALVES, D. B. Considerações sobre a expansão recente da lavoura canavieira no Brasil. **Informações Econômicas, São Paulo**, v.39, n.10, p.70-82, 2009.

GOUVÊA, J. R. F. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos da cultura de cana-de-açúcar na região de Piracicaba- SP**, Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 99, 2008.

GURGEL, A. C. Impacto da política americana de estímulo aos biocombustíveis sobre a produção agropecuária e o uso da terra. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.49, p.181-124, 2011.

HOLANDA, L. A.; SANTOS, C. M.; NETO, G. D. S.; DE PÁDUA SOUSA, A.; DE ALMEIDA SILVA, M. Variáveis morfológicas da cana-de-açúcar em função do regime hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Irriga**, v.19, n.4, p.573-584, 2015.

HARTL, C. E. The third study of water and cane ripening. **Hawaiian Pirs'Rec. A - Honolulu**, v.43, p.145-58, 1939.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, v.17, p.32-34, 1999.

HITCHCOCK, A. S. Type species of the first 100 genera of Linnaeus' Species plantarum. **American Journal of Botany**, v.10, n.9, p.510-514, 1923.

HUMBERT, R.P. Planting of sugar cane. In: HUMBERT, R.P. The growing of sugar cane. Amsterdam, **Elsevier**, v.1, n.1, p.103-130, 1968.

IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; REGINATO, R. J. Remote-sensing of crop yields. **Science**, v. 196, n. 4285, p. 19-25, 1977.

IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; PINTER, P. J.; REGINATO, R. J.; HATFIELD, J. L. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. **Agricultural Meteorology**, v.24, p.45-55, 1981.

IEA - Instituto de Economia Agrícola. **Banco de dados**. São Paulo: IEA. <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=13601>> 20 Mai. 2015.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field crops research**, v.92, n.2, p.185-202, 2005.

JADOSKI, C. J.; TOPPA, B. E. V.; JULIANETTI, A.; HULSBOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Physiology development in the vegetative stage of sugarcane. **Pesquisa aplicada e Agrotecnologia**, v.3, n.2, p.169-186, 2010.

JACKSON, R. D.; REGINATO, R. J.; IDSO, S. B. Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements. **Water resources research**, v.13, p.651-656, 1977.

JACKSON, R.D. Canopy temperature and crop water stress. **Adv. Irrig.** n.1, p.43-85. 1982.

KEATING, B. A.; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, v.61, n.3, p.253-271, 1999.

KONDRATYEV, K. Y.; FEDOROVA, M. P. Radiation regime of inclined surfaces. **Solar Energy**, v.1, n.1, p.36-61, 1977.

KUIJPER, J. DeGroeï van Bladschijf, Bladscheede em Stengel van het suikerriet. **Arch Suikerind Ned Indië**, v.23, n.1, p.528-556, 1915.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; PERFECT, E.; TORMENA, C. A. An algorithm for calculating the least limiting water range of soils. **Agronomy Journal**, v.1, n.97, p.1210-1215, 2005.

LEBOURGEOIS, V., CHOPART, J. L.; BÉGUÉ, A.; MÉZO, L. LE. Towards using a thermal infrared index combined with water balance modelling to monitor sugarcane irrigation in a tropical environment. **Agricultural Water Management**, v.97, n.1, p.75-82. 2010.

LIU, D. L.; KINGSTON, G.; BULL, T. A. A new technique for determining the thermal parameters of phenological development in sugarcane, including suboptimum and supra-optimum temperature regimes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.90, n.1, p.119-139, 1998.

MACHADO, E. C. P. A. R.; CAMARGO, M. B. P.; FAHL, J. I. Relações radiométricas de uma cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v.44, n.1, p.229-238, 1985.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T.; (Coord.).

**Ecofisiologia da produção.** Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p.113-118.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P. Fisiologia. MALAVOLTA, E., SEGALA, AL, GOMES, F.P, et al. **Cultivo e adubação da cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Brasileiro de Potassa, p. 221-236, 1964.

MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; FRANCELINO, F. M. A.; DE OLIVEIRA FRANCELINO, H.; COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, v.17, n.1, p.163-181, 2015.

MAPA - Ministério da Agricultura. **Cana-de-açúcar.** Disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. 20 Fev 2015.

MARAFON, A. C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, p.29, 2012. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 168).

MARCHIORI, L. S. **Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar.** 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA, J. G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, v.58, n.2, p.295-301, 2001.

MAZARON, B. H. S. **Crescimento da cana-de-açúcar em superfícies irrigadas, com diferentes exposições e declividades.** Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal-SP. 2013. p.55.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; VANZOLINI, S.; MATTIUZ, C. F. M. **História e morfologia da cana-de-açúcar.** In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (eds) Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba, v.1, n.11–18, 2006.

OLIVEIRA, E. D.; OLIVEIRA, R. D.; ANDRADE, B. D.; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.9, p.951-960, 2010.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S. Produção de biomassa de cana-de-açúcar no vale do São Francisco. **Energia na agricultura**, v.29, n.1, p.27-38, 2014.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu-SP, n.1, p.101, 1994.

SALASSIER, B. Manejo da Irrigação na Cana-de-açúcar. In: congresso nacional de irrigação e drenagem. 2006, Goiás, GO. **Anais....** [Brasília, DF: ABID, 2006].

SANCHEZ, R. B.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; BARACAT NETO, J.; SIQUEIRA, D. S.; SOUZA, Z. M. Mapeamento das formas do relevo para estimativa de custos de fertilização em cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p.1077-1090, 2012.

SANMARTIN, J.P.; ACEVEDO, E. **Temperatura de canopia, CWSI e rendimento en genotipos de trigo**. 2001. 58 p. Laboratorio de Relación Suelo-Água-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile.

SANTOS, E.; SUZUKI, B.; SATIKA, M. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 4, p.6, 2008.

SCARPARI, M.S.; BEAUCLAIR, E.G.F. de Sugarcane maturity estimation through edaphic-climatic parameters. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.5, p.486-491, 2004.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Variação espaço-temporal do índice de área foliar e do brix em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v.67, n.1, p.35-41, 2008.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. **Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar**. In: SEGATO, S. V. et al. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Livrocere, p.19-36, 2006.

SENAMHI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [National Service of Meteorology and Hydrology]: **Ministerio de Medio Ambiente y Agua [Ministry of Environment and Water** - Government of Bolivia]. Spanish. Available from: <<http://www.senamhi.gob.bo/sismet/index.php>>. 20 Nov de 2015.

SILVA, A. M.; CARLIN, S. D.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v.51, p.457-466, 2004.

SILVA, M. A.; SOARES, R. A. B.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P. Agronomic performance of sugarcane families in response to water stress. **Bragantia**, v.67, n.3, p.655-661, 2008.

SILVA, V. P. R.; BORGES, C. J. R.; ALBUQUERQUE, W. G. Necessidades hídricas da cana-de-açúcar cultivada em clima tropical. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.2, p.625-632, 2014.

SINGELS, A.; DONALDSON, R. A.; SMIT, M. A. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. **Field Crops Research**, v.92, p.291-303, 2005.

STOCKLE, C. O.; DUGAS, W. A. Evaluating canopy temperature-based indices for irrigation scheduling. **Irrigation Science**, v.13, n.1, p.31-37, 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia do estresse**. Fisiologia vegetal, v.4, p.738-772, 2004.

TAVARES, A. C. S. **Sensibilidade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) ao excesso de água no solo**. 2009. 220 p. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.

TERUEL, D. A.; BARBIERI, V.; FERRARO JR, L. A. Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. **Scientia Agricola**, v. 54, n. SPE, p. 39-44, 1997.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, vol.31, n.6, p.1085-1095, 2011.

TRINTINALHA, M. A.; GONCALVES, A. C. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; FOLEGATTI, M. V.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R. Comparação dos sistemas TDR e ECHO para medida de umidade, em um solo argiloso e em areia. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringa, v. 26, n. 3, p. 353-360, 2004.

TURCO, J. E. P.; PINOTTI JUNIOR, M.; RODRIGUES, T. J. D.; FERNANDES, E. J. Desenvolvimento da cultura de soja em terrenos com diferentes exposições e declividades. **Engenharia Agrícola**, v.17, n.2, p.21-28, 1997.

TURCO, J. E.; MILANI, A. P.; FERNANDES, E. J. Adequacy of the Penman-Monteith method to irrigated surface with different exposures and declivity. In: International Conference of Agricultural Engineering. 2012. **Anais...** Valencia: CIGR – AGENG 2012. CD Rom.

VALSECHI, O. A. Pagamento de cana pelo teor de sacarose: O sistema implantado em São Paulo. **Brasil Açucareiro**, v.101, n.1/3, p.32-39, 1983.

VALSECHI, O. A. **Características tecnológicas e avaliação da qualidade industrial da cana-de-açúcar**. 1<sup>st</sup> Ethanol Week: Sharing the Brazilian Experience Araras, SP. 1 a 5 de setembro de 2008.

VAN HEEMST, H. D. J. Physiological principles. In: Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. **Pudoc**, v.1, n.1, p.3-26, 1986.

VAREJÃO-SILVA, M. A.; CEZAR-BARROS, A. H. **Zoneamento de aptidão climática do estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos**. Recife: COTEC/Data Agros – Informática & Informações Agrícolas/Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária de Pernambuco. 2001. 38p. Relatório Técnico.

VIANA, L. Q.; GONÇALVES, R. C.; ROTUNNO FILHO, O. C. Avaliação espaço-temporal do NDVI com a precipitação e com a evapotranspiração na bacia do Rio Preto RJ/MG. in: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves-RS. **Anais...** Bento Gonçalves-RS: ABRH, 2013. p.8.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; DELAZARI, F. T. Morpho-physiological indicators of water stress on sugarcane as a function of irrigation depths. **Bioscience Journal**, v.30, n.3, p.65-75, 2014.

WANG, X.; YANG, W.; WHEATON, A.; COOLEY, N.; MORAN, B. Automated canopy temperature estimation via infrared thermography: a first step towards automated plant water stress monitoring. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.73, n.1, p.74-83, 2010.

WANJURA, D. F.; UPCHURCH, D. R. Infrared thermometer calibration and viewing method effects on canopy temperature measurement. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 55, n. 3, p. 309-321, 1991.