



# LEVANTAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA NA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL



## **República Federativa do Brasil**

Michel Temer

Presidente

## **Ministério do Meio Ambiente (MMA)**

José Sarney Filho

Ministro

## **Agência Nacional de Águas (ANA)**

### **Diretoria Colegiada**

Vicente Andreu Guillo (Diretor-Presidente)

Paulo Lopes Varella Neto

João Gilberto Lotufo Conejo

Gisela Damm Forattini

Ney Maranhão

## **Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR)**

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS  
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA)**

**LEVANTAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA  
NA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL**



**SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS (SPR)**

**BRASÍLIA - DF  
ANA  
2017**

© 2017, Agência Nacional de Águas (ANA).

Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M e T.

CEP: 70610-200, Brasília-DF.

PABX: (61) 2109-5400 | (61) 2109-5252

Endereço eletrônico: [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)

**Comitê de Editoração**

João Gilberto Lotufo Conejo

*Diretor*

Reginaldo Pereira Miguel

*Procurador Federal*

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Ricardo Medeiros de Andrade

Joaquim Guedes Corrêa Gondim Filho

*Superintendentes*

Mayui Vieira Guimarães Scafura

*Secretária-Executiva*

**Equipe editorial**

**Supervisão editorial:** Thiago Henriques Fontenelle

Gonzalo Álvaro Vázquez Fernandez

Wagner Martins da Cunha Vilella

**Elaboração dos originais:** Agência Nacional de Águas (ANA)

**Diagramação e Capa:** Adílio Lemos da Silva

Thiago Henriques Fontenelle

**Infográficos:** Marcelo Pliger

**Fotografias:** Banco de Imagens ANA

**Produção:** Agência Nacional de Águas (ANA)

As ilustrações, tabelas e gráficos sem indicação de fonte foram elaborados pela ANA.

Informações, críticas, sugestões, correções de dados: [cedoc@ana.gov.br](mailto:cedoc@ana.gov.br)

Disponível também em: <http://www.ana.gov.br>

**Todos os direitos reservados**

É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

**Catálogo na fonte - CEDOC/Biblioteca**

**A265u**

Agência Nacional de Águas (Brasil).

Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada na Região Centro-Sul do Brasil /  
Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2017.

31 p.: il.

ISBN XXX-XX-XXXX-XXX-X

1. Cana-de-açúcar - Irrigação. I. Título.

**CDU 633.61+631.67(816/817)**

## **COORDENAÇÃO E ELABORAÇÃO**

### **Agência Nacional de Águas (ANA)**

#### **Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR)**

##### **Coordenação Geral**

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

##### **Coordenação Executiva**

Wagner Martins da Cunha Vilella

##### **Equipe Técnica**

Filipe Sampaio Casulari Pinhati

Gaetan Serge Jean Dubois

Gonzalo Álvaro Vázquez Fernandez

Thiago Henriques Fontenelle

### **Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda.**

##### **Coordenação Geral**

Bernardo Friedrich Theodor Rudorff

##### **Coordenação Executiva**

Daniel Alves de Aguiar

##### **Equipe Técnica**

Moisés Pereira Galvão Salgado

Camila Tavares Homann

Fabio Guimarães Gonçalves

Joel Risso

Fabio Eduardo Meneghin

Getúlio Teixeira Batista

##### **Equipe de Apoio**

Luciana de Oliveira

Marco Aurélio Virtuoso

Charles Baldi

Lívia Corrêa Crispim (Trainee)

Rafael Rossi Viégas (Trainee)

## Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Área plantada de cana-de-açúcar nos principais Estados produtores (2000-2015) - Centro-Sul (área de estudo) e Brasil .....    | 10 |
| <b>Figura 2.</b> Principais etapas e características do levantamento de áreas irrigadas de cana .....  | 14 |
| <b>Figura 3.</b> Área cultivada com cana-de-açúcar na safra 2015/16 e usinas sucroenergéticas no Centro-Sul brasileiro.....                    | 15 |
| <b>Figura 4.</b> Trajetória do índice de vegetação (EVI/MODIS) de 2001 a 2016 de um pixel em área de cana, no município de Paracatu/MG. ....   | 18 |
| <b>Figura 5.</b> Trajetória do índice de vegetação (EVI/MODIS) de 2001 a 2016 de um pixel em área de cana, no município de Jaboticabal/SP..... | 18 |
| <b>Figura 6.</b> Trajetória do índice de vegetação (EVI) de 2008 a 2016 de pixels em área de cana, no município de Goianésia/GO. ....          | 18 |
| <b>Figura 7.</b> Figura 8. Deficiência hídrica mensal e média anual - média 1997-2012.....   | 21 |
| <b>Figura 8.</b> Figura 8. Deficiência hídrica mensal e média anual - safra 2015/16.....   | 22 |
| <b>Figura 9.</b> Relação área irrigada x distância para usinas sucroenergéticas .....  | 23 |
| <b>Figura 10.</b> Resumo dos resultados do levantamento da cana-de-açúcar irrigada, por Estado e total.....                                    | 24 |
| <b>Figura 11.</b> Resultados do mapeamento de irrigação em cana-de-açúcar por município – safra 2015/16 .....                                  | 25 |
| <b>Figura 12.</b> Proporção área irrigada/área cultivada em cana-de-açúcar por município – safra 2015/16 .....                                 | 26 |

## Sumário

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Apresentação .....</b>                   | <b>7</b>  |
| <b>1 Contexto e Objetivo .....</b>          | <b>8</b>  |
| <b>2 A Irrigação na Cana-de-Açúcar.....</b> | <b>11</b> |
| <b>3 Metodologia.....</b>                   | <b>13</b> |
| 3.1 Introdução.....                         | 13        |
| 3.2 Mapeamento dos canaviais.....           | 13        |
| 3.3 Deficiência Hídrica Climática .....     | 16        |
| 3.4 Classificação da cana irrigada .....    | 16        |
| <b>4 Resultados .....</b>                   | <b>20</b> |
| 4.1 Deficiência Hídrica .....               | 20        |
| 4.2 Áreas Irrigadas de Cana-de-açúcar.....  | 23        |
| <b>5 Considerações Finais.....</b>          | <b>28</b> |
| <b>6 Referências Bibliográficas .....</b>   | <b>30</b> |

# Apresentação



Áreas de cana-de-açúcar e reservatórios em Populina (SP)  
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

A Agência Nacional de Águas – ANA é responsável pela produção e atualização de informações sobre o balanço hídrico nacional, ou seja, sobre a relação entre a disponibilidade e a demanda de água para os usos dos diferentes setores usuários. Em termos quantitativos, a irrigação é o maior e mais dinâmico setor usuário de recursos hídricos, sendo responsável em média por mais de 70% do consumo de água no Brasil. Em importantes bacias hidrográficas, o consumo da irrigação pode superar 90% do consumo total, a exemplo da bacia do rio São Francisco.

Entretanto, e apesar do forte crescimento verificado nas últimas décadas, a irrigação no nosso País pode ser considerada subutilizada frente à área agrícola total, à extensão territorial e ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica diante da qual o consumo representa uma parcela muito pequena em diversas partes do território.

Dentre os diversos benefícios observados na prática da irrigação, pode-se destacar o aumento significativo da produtividade em relação à agricultura de sequeiro, a diminuição da pressão sobre a abertura de novas áreas para agricultura, a otimização do uso do solo e de insumos (máquinas, implementos, mão-de-obra etc.), o aumento e a regularidade na oferta de produtos agrícolas, o estímulo à implantação de agroindústrias e a minimização de riscos climáticos.

Ao mesmo tempo, apesar do forte e recente crescimento da irrigação brasileira, além do grande potencial de expansão diante dos diversos benefícios observados, restam lacunas de conhecimento acerca das áreas efetivamente irrigadas e das di-

ferentes formas de manejo do uso da água. Visando ao melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, a ANA tem promovido estudos e parcerias para suprir a carência de informações sobre a agricultura irrigada.

Neste contexto, a irrigação em cana-de-açúcar é de suma importância uma vez que é a cultura de maior área irrigada do País. Ao mesmo tempo, apresenta peculiaridades que dificultam sua identificação, tais como: a aplicação em larga escala de baixas lâminas de irrigação; o elevado reuso de água dos processos industriais de produção de etanol; e a grande mobilidade e variedade dos equipamentos utilizados, o que permite irrigar diversas áreas que podem variar significativamente a cada safra. Estas características diferem da maior parte das demais culturas e caracterizam a cana como baixo consumidor de água por unidade de área, mas de grande relevância devido à larga extensão em que ocorre, o que pode alterar significativamente o balanço hídrico de uma sub-bacia.

Diante do desafio inédito de levantar a área de cana-de-açúcar irrigada, que contou com grandes esforços de desenvolvimento metodológico, a ANA apresenta o Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada na Região Centro-Sul do Brasil como parte dos esforços de produção e de disseminação de informações sobre irrigação, com vistas à maior qualificação das tomadas de decisão, especialmente no que diz respeito à segurança hídrica.

# 1 Contexto e Objetivo



Áreas de cana-de-açúcar no entorno da área urbana de Populina (SP)  
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

A cana-de-açúcar é uma das principais fontes de riqueza agrícola do País e, portanto, exerce um importante papel na economia nacional. Condições climáticas favoráveis em grande parte do território, boa disponibilidade de terras com solos aptos para o cultivo e custos de produção relativamente baixos são os principais fatores que colocam o Brasil na liderança mundial da produção de cana. A Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB estimou para a safra 2016/17 uma produção de 695 milhões de toneladas de cana, utilizada para produzir 39,8 milhões de toneladas de açúcar e 27,9 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2017).

Além disso, a cana é responsável por 18% da matriz energética brasileira, contribuindo significativamente para que a participação de fontes renováveis na energia total produzida no país seja a maior do mundo, na casa dos 43,5%, exercendo papel fundamental na proposta brasileira de redução das emissões de gases do efeito estufa apresentada na Conferência do Clima em Paris (COP 21) com a meta de consumir 50 bilhões de litros de etanol em 2030.

O cultivo da cana-de-açúcar ocupa uma área de cerca de 10,2 milhões de hectares e está basicamente distribuído em duas grandes regiões do país: a Centro-Sul – composta pelos estados do Sudeste, Centro-Oeste e Sul – e o Nordeste. Os principais produtores do Centro-Sul – São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná, Mato Grosso, Rio de Janeiro e Espírito Santo – abrangem 88,8% da área nacional cultivada e respondem por 91,0% da produção (Tabela 1). Este recorte territorial corresponde à área do estudo aqui apresentado.

Tabela 1. Área plantada e quantidade produzida de cana-de-açúcar em 2015 nos Estados da área de estudo e Brasil

| UF  | Área plantada (hectares) | Área plantada (%) | Quantidade produzida (toneladas) | Quantidade produzida (%) |
|---|--------------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------------|
| São Paulo   | 5.576.838                | 54,9              | 423.419.511                      | 56,6                     |
| Minas Gerais  | 917.878                  | 9,0               | 69.017.764                       | 9,2                      |
| Goiás   | 911.847                  | 9,0               | 70.412.725                       | 9,4                      |
| Paraná  | 626.375                  | 6,2               | 47.368.045                       | 6,3                      |
| Mato Grosso do Sul  | 546.099                  | 5,4               | 43.924.003                       | 5,9                      |
| Mato Grosso   | 291.100                  | 2,9               | 20.077.293                       | 2,7                      |
| Rio de Janeiro  | 79.388                   | 0,8               | 3.919.509                        | 0,5                      |
| Espírito Santo  | 76.683                   | 0,8               | 3.320.809                        | 0,4                      |
| <b>Total - Área de estudo</b>   | <b>9.026.208</b>         | <b>88,8</b>       | <b>681.459.659</b>               | <b>91,0</b>              |
|  <b>Brasil</b> | <b>10.161.622</b>        | <b>100</b>        | <b>748.636.167</b>               | <b>100</b>               |

Fonte: Produção Agrícola Municipal 2015 (PAM/IBGE,2016)

Foram realizados diversos investimentos para aumentar significativamente a produção de cana, em decorrência de uma perspectiva bastante promissora para o setor sucroenergético, principalmente, para produzir etanol, com a chegada ao mercado dos veículos bicompostíveis e a esperança do Brasil se tornar um grande exporta-

dor do biocombustível. Estes investimentos foram mais expressivos nos estados do Centro-Sul e fizeram com que a área plantada de cana passasse de 3,68 milhões de hectares (Mha) no ano 2000 para 9,03 Mha em 2015 - um acréscimo de 145%. Já na tradicional região produtora do Nordeste a área plantada tem se mantido relativamente estável neste período (1,053 Mha em 2000 e 1,13 Mha em 2015).

A evolução do plantio de cana na área de estudo - responsável pela quase totalidade da expansão da cana no País ao longo dos últimos 15 anos - é destacada na Figura 1 para os Estados da região Centro-sul que compõem a área de estudo, além dos totais do Centro-Sul e do Brasil.

O aumento observado na área plantada não foi acompanhado por um aumento proporcional na produção devido à redução na produtividade. Diversas são as causas relacionadas com a perda de produtividade dos canaviais da região Centro-Sul com destaque para as sucessivas estiagens observadas nos últimos anos, particularmente em 2010, 2011 e 2014.

Somadas às intempéries climáticas, as dificuldades impostas pelo mercado e a insuficiência de políticas públicas favoráveis agravaram a crise do setor sucroenergético iniciada em 2008. A crise se estendeu até 2015 quando foi recuperada a rentabilidade do etanol junto às usinas e o açúcar teve alta de preços na esfera internacional.

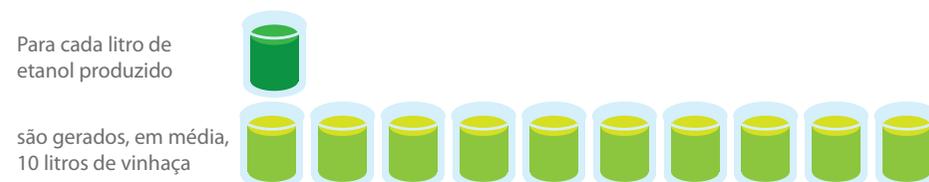
Outro aspecto relacionado com a estagnação da produtividade foi o avanço da mecanização da colheita, hoje presente em quase toda região Centro-Sul. Cortes mal realizados e arranque de soqueiras foram erros comuns cometidos no início da ampliação do corte mecanizado. A expansão da cana sobre pastagens em regiões de terras de menor custo e com condição edafoclimática menos favorável, quando comparado com as tradicionais regiões canavieiras, também contribuiu na redução da produtividade.

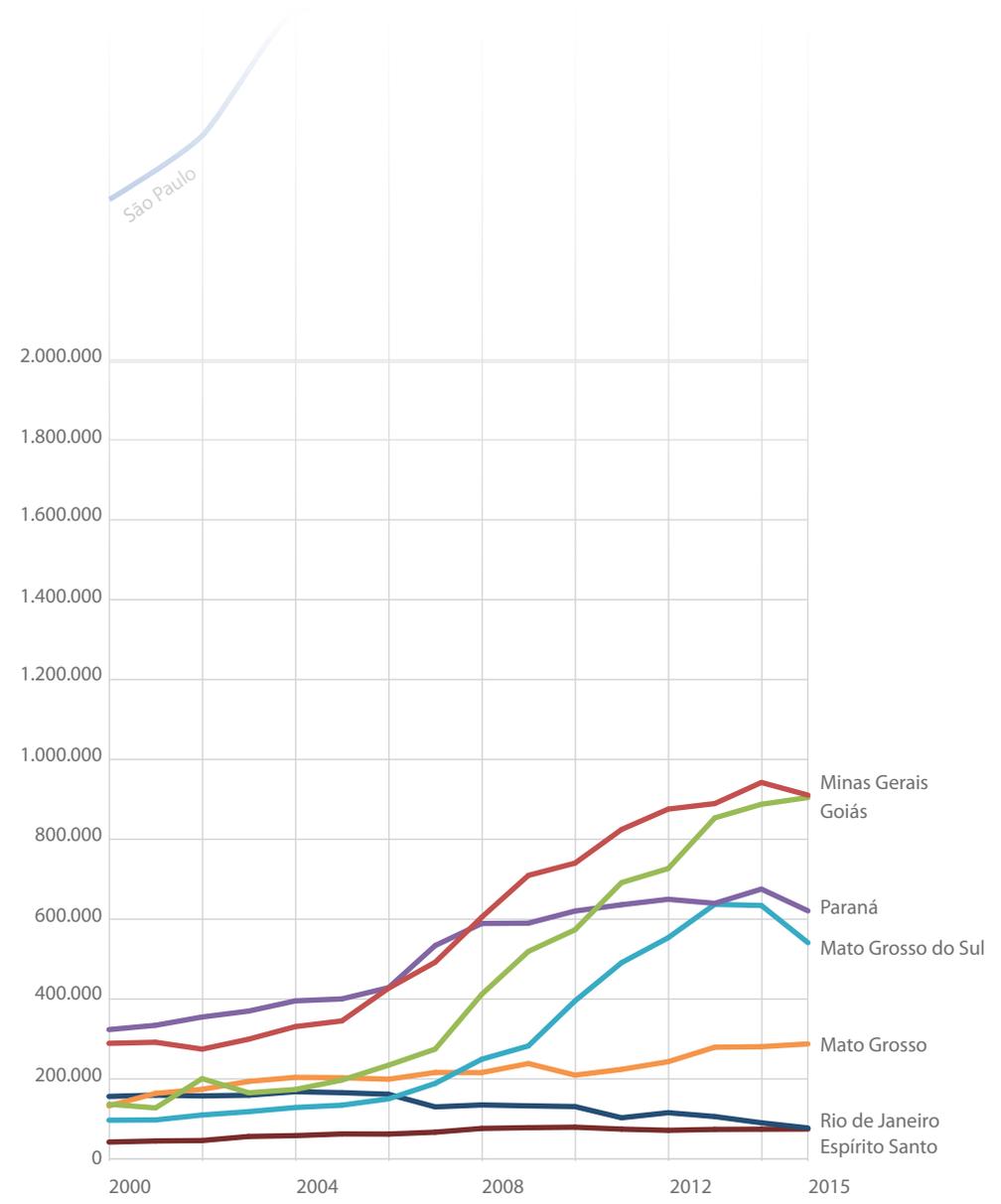
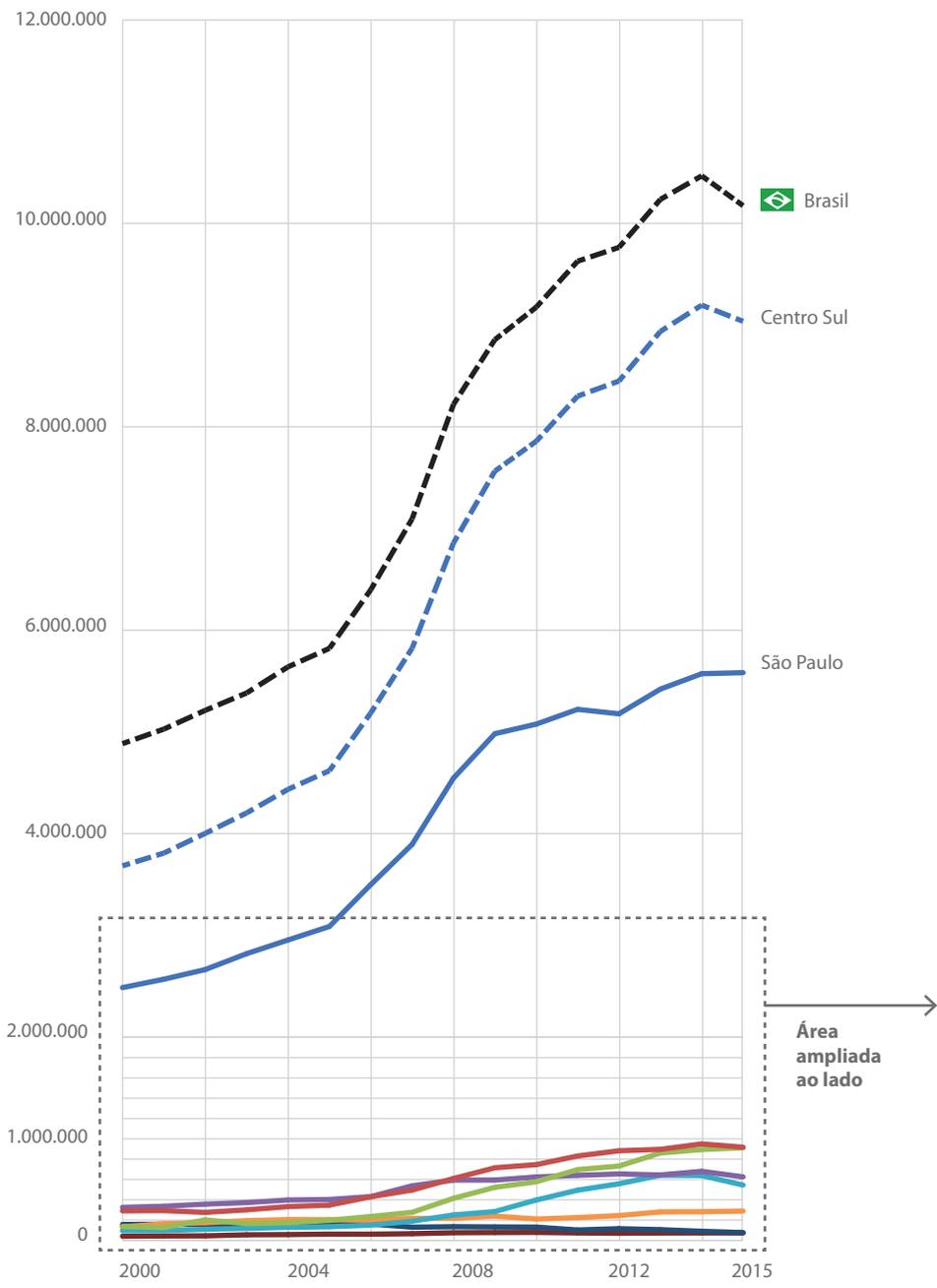
A cana, naturalmente, apresenta elevada resiliência ao déficit hídrico, ou seja, a produtividade é reduzida, mas sua produção não é inviabilizada. A prática da irrigação pode mitigar os impactos negativos decorrentes de estiagens prolongadas além de aumentar a longevidade do canavial, isto é, seu tempo de substituição (reforma) previsto para 5 ou 6 anos pode até dobrar. Contudo, é importante ressaltar que a correta aplicação de água precisa estar associada a uma sólida base tecnológica para que o canavial possa expressar plenamente o seu potencial produtivo e responder ao gasto adicional com a implantação e o manejo da irrigação.

A adoção da irrigação em grandes áreas apresenta restrições de natureza econômica e ambiental. No entanto, praticamente todas as usinas do país dispõem de equipamentos de irrigação (carretéis enroladores, principalmente) para aplicação da vinhaça gerada durante o processo de destilação do etanol, tanto para atender os normativos legais, que impedem o seu lançamento direto nos corpos d'água, quanto para adubação, geralmente potássica. Para cada litro de etanol são gerados cerca de 10 litros de vinhaça que via de regra são utilizados na irrigação dos canaviais no entorno das usinas. Como a safra 2016/17 produziu cerca de 280 bilhões de litros de vinhaça, esse montante seria suficiente para aplicar uma lâmina de 28 mm de vinhaça em 1 milhão de hectares. Entretanto, a vinhaça é geralmente diluída em água (captada diretamente nos corpos d'água ou originária do reuso do processo industrial das usinas) para fazer a fertirrigação dos canaviais o que, além da fertilização propriamente dita, contribui para a redução do déficit hídrico das soqueiras, logo após o corte.

A inexistência de um levantamento mais detalhado sobre a área irrigada de cana na região Centro-Sul, indicando as regiões mais críticas em termos de deficiência hídrica, dificulta o avanço no conhecimento do uso da água e da atuação do sistema de gestão de recursos hídricos. Este avanço é fundamental para a efetividade e a eficácia dos instrumentos de gestão, assim como para o desenvolvimento de políticas e programas para o setor sucroenergético.

Neste sentido, o presente estudo tem por objetivo mapear as áreas de cana-de-açúcar irrigadas na região Centro-Sul por meio de técnicas de processamento de imagens de sensoriamento remoto e análises de dados meteorológicos. O ineditismo e a natureza inovadora deste estudo demandaram grande empenho de desenvolvimento metodológico e computacional. Persistem algumas limitações para identificar com precisão os diferentes tipos de irrigação e as intensidades aplicadas nos canaviais, mas as análises, realizadas com os mais avançados dados e métodos disponíveis, foram esgotadas ao máximo, gerando um conhecimento que define o estado da arte do mapeamento de área irrigada em cana, dentro da dimensão territorial deste estudo.





Fonte: PAM/IBGE, 2016

Figura 1. Área plantada de cana-de-açúcar nos principais Estados produtores (2000-2015) - Centro-Sul (área de estudo) e Brasil.

10 Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada na Região Centro-Sul do Brasil

# 2 A Irrigação na Cana-de-Açúcar



Usina sucroalcooleira e áreas de cana-de-açúcar em São Francisco de Sales (MG)  
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

A cana-de-açúcar é a cultura de maior área irrigada do País com cerca de 30% do total. Ao mesmo tempo, apresenta peculiaridades que dificultam sua identificação, tais como: a aplicação em larga escala de baixas lâminas de irrigação (fertirrigação e salvamento); o elevado reaproveitamento da vinhaça oriunda do processo industrial de produção do etanol; e a mobilidade dos equipamentos de irrigação que permite irrigar diversas áreas a cada safra.

Embora a cana seja uma cultura que apresente boa resistência ao estresse hídrico, seu crescimento e desenvolvimento é beneficiado largamente sob condições hídricas favoráveis com ganhos de produtividade, longevidade e qualidade. Na região Centro-Sul, o período seco acontece nas estações de outono-inverno propiciando condições favoráveis tanto para o amadurecimento da cana quanto para a colheita. Ou seja, uma condição de deficiência hídrica ou restrição térmica, no período que antecede a colheita, é necessária para o amadurecimento da cana. Além disso, o procedimento de colheita e o transporte da cana para a unidade industrial é prejudicado e até mesmo interrompido com a ocorrência de chuvas. Por exemplo, a maior ocorrência de chuvas no outono-inverno em anos de *El Niño* favorece a rebrota das soqueiras, mas prejudica a colheita diminuindo a disponibilidade de matéria prima para produção de açúcar e etanol. Por outro lado, a cana necessita de água para rebrota das soqueiras, o que em anos mais secos prejudica substancialmente a produtividade. Isso foi observado em grande parte dos canaviais da região Centro-Sul submetidos à estiagem de 2014.

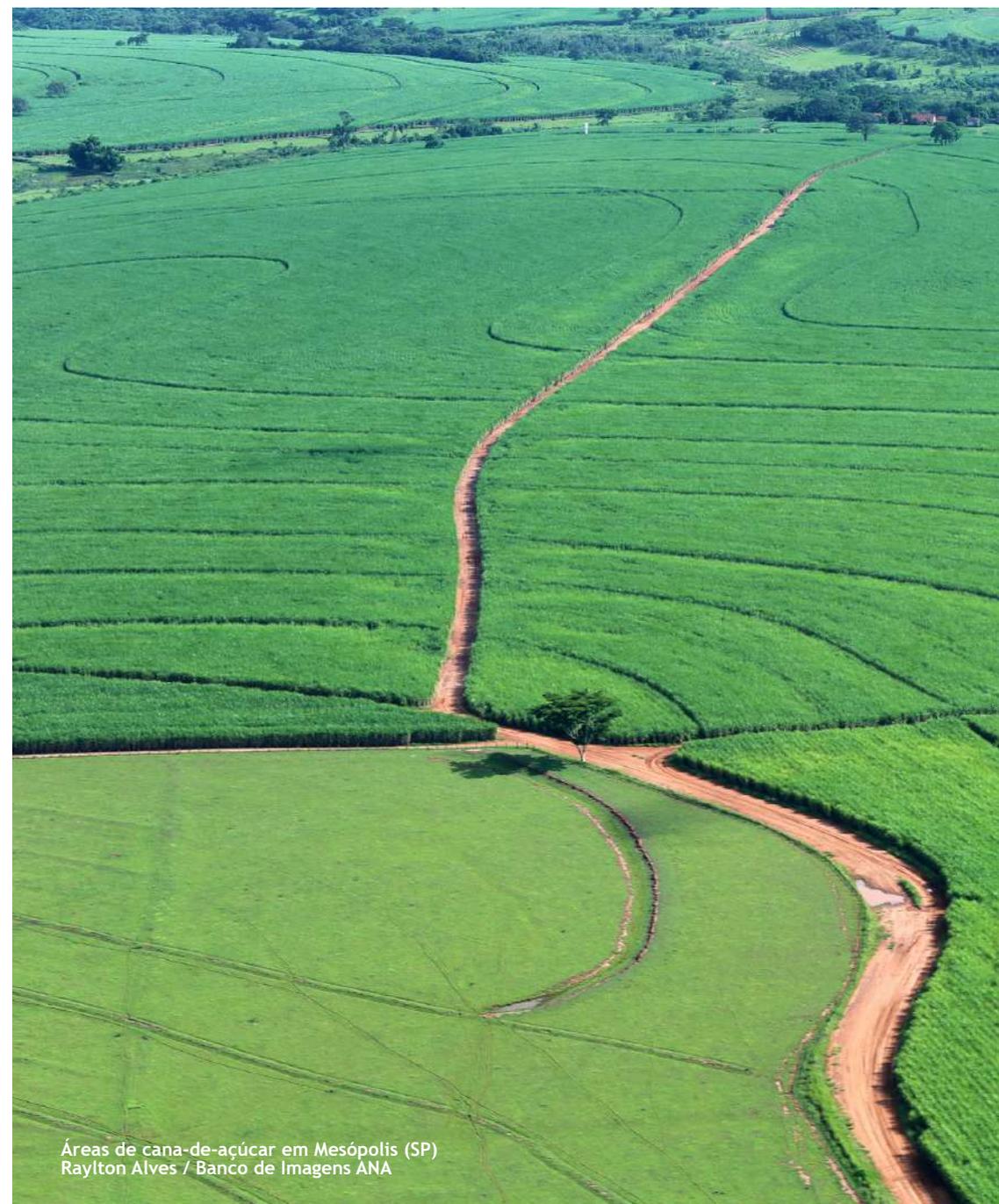
A irrigação desempenha um papel relevante no ciclo de produção da cana, independentemente da lâmina de água aplicada. Em algumas regiões, a produção somente se viabiliza mediante a aplicação de lâminas de água mais significativas, que podem chegar a até 1.000 mm/ano. Em outras regiões se aplicam lâminas menores, que podem variar de 20 a 80 mm/ano. Há ainda aquelas onde são aplicadas lâminas ainda menores, conseqüentemente de pequeno impacto em termos de suprimento de água para a cultura. No entanto, a quantidade de água utilizada na prática da irrigação da cana-de-açúcar ainda é relativamente desconhecida.

A prática da irrigação nos canaviais se dá de diversas maneiras e no presente estudo foi dividida em dois grandes grupos, em função dos tipos de sistemas de irrigação utilizados para aplicar as lâminas de água. No primeiro grupo foi enquadrada a irrigação plena que visa suprir próximo a 100% da deficiência hídrica do período seco aplicando lâminas de água mais significativas (300 a 1.000 mm/ano). Ainda nesse grupo se encontra a irrigação com déficit (ou semiplena) que visa suprir em torno de 50% da deficiência hídrica do período seco aplicando lâminas de água entre 200 e 300 mm/ano. Tanto a irrigação plena quanto a irrigação com déficit são realizadas majoritariamente por meio de pivôs centrais e sistemas lineares.

No segundo grupo de irrigação se enquadrada a irrigação de salvamento que visa reduzir parcialmente o estresse hídrico no período seco no intuito de favorecer o desenvolvimento das lavouras com a entrada das primeiras chuvas. Em geral, na

irrigação de salvamento são aplicadas lâminas de vinhaça pura ou diluída em água, originárias do processo industrial. A aplicação é realizada com carretel enrolador (*hidro roll*) ou ainda com pivô rebocável, variando de 20 a 80 mm/ano. A irrigação de salvamento é realizada tanto em regiões de maior deficiência hídrica, onde a produção não se viabiliza economicamente sem irrigação, quanto em regiões de menor deficiência hídrica, onde esse tipo de irrigação é praticado visando ganho de produtividade e longevidade dos canaviais. A aplicação de lâminas anuais entre 80 e 200 mm é pouco adotada neste grupo, mas pode acontecer sob condições climáticas adversas. A aplicação de vinhaça com a finalidade de realizar fertirrigação com lâminas inferiores a 20 mm/ano não foi objeto deste estudo por ter baixo impacto na redução do estresse hídrico da cana e, conseqüentemente, apresentar resposta à irrigação abaixo do limiar mínimo identificável nas imagens de satélite.

Em que pese a relevante participação da cana-de-açúcar na área irrigada total, cabe destacar que a demanda hídrica por hectare é bastante inferior a das demais culturas, principalmente por conta de dois aspectos mencionados anteriormente: baixas lâminas de aplicação (com uso do salvamento em larga escala) e elevado reuso de água dos processos industriais.



Áreas de cana-de-açúcar em Mesópolis (SP)  
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

# 3 Metodologia



Áreas de cana-de-açúcar e reservatórios na região de Mesópolis (SP)  
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

## 3.1 Introdução

O desenvolvimento deste estudo de Mapeamento da Área de Cana-de-Açúcar Irrigada no Centro-Sul Brasileiro foi pautado, essencialmente, em três variáveis que estão relacionadas com o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar: 1) a deficiência hídrica; 2) a irrigação; e 3) o vigor do canavial. A primeira e segunda exercem impacto direto sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura; enquanto a terceira é uma resposta relacionada com o crescimento e desenvolvimento da mesma. A hipótese de que a prática da irrigação proporciona ao canavial melhor condição de crescimento, quando comparado aos canaviais sem irrigação, e que isto pode ser detectado por meio do vigor do canavial medido pelas imagens de satélites (Fernández et al., 2013) justificou a realização deste estudo.

Neste sentido, foi fundamental o entendimento da relação entre a deficiência hídrica – acompanhada ou não da irrigação – e a resposta captada pelas imagens de satélite ao longo das fases de crescimento e desenvolvimento da cana. Uma vez que o método busca a diferenciação de resposta da cana relacionada às áreas irrigadas e não irrigadas, foi essencial a utilização do mapa com a distribuição geográfica dos canaviais da região Centro-Sul. O fluxograma da Figura 2 apresenta a sequência das diversas etapas e dos procedimentos metodológicos envolvidos na elaboração do mapa de irrigação – safra 2015/2016 – e que serão detalhados nos tópicos a seguir.

## 3.2 Mapeamento dos canaviais

A área cultivada com cana na região Centro-Sul vem sendo mapeada anualmente por meio do projeto Canasat iniciado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE em 2003 e continuado pela Agrosatélite Geotecnologia Aplicada Ltda. desde 2014. O Canasat realiza o mapeamento dos canaviais por meio de uma metodologia consistente de análise de imagens de satélite de sensoriamento remoto de média resolução espacial (Rudorff et al., 2010).

O mapa do Canasat referente à safra 2015/16, para o Centro-Sul, totaliza 9,3 milhões de hectares de cana disponível para colheita (Agrosatélite, 2016), sendo esta a área de estudo em análises relacionadas com a deficiência hídrica e para classificação da cana irrigada e não irrigada. A Figura 3 apresenta a distribuição espacial dos canaviais cultivados na safra 2015/16 e as usinas sucroenergéticas da região Centro-Sul.

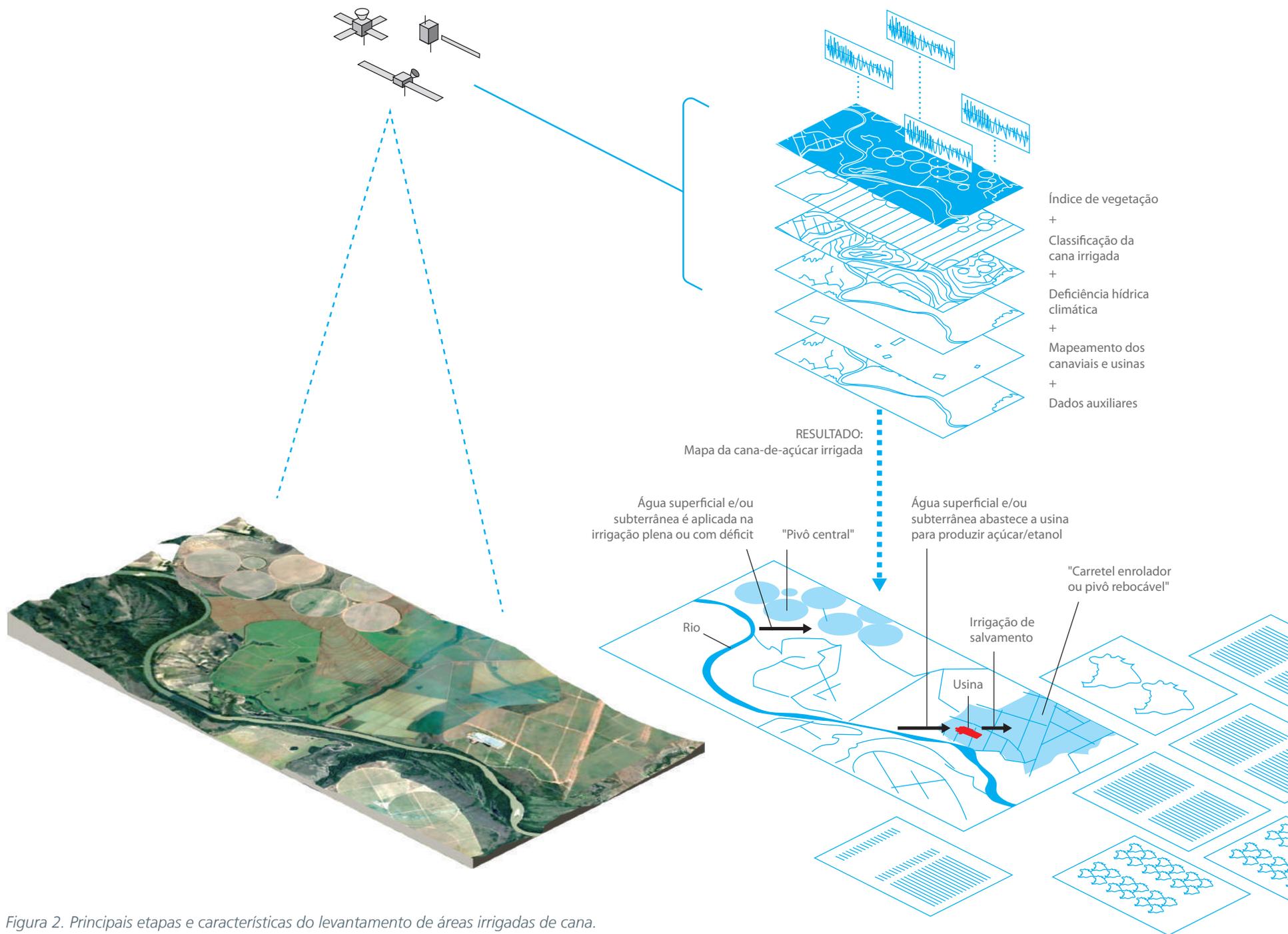


Figura 2. Principais etapas e características do levantamento de áreas irrigadas de cana.

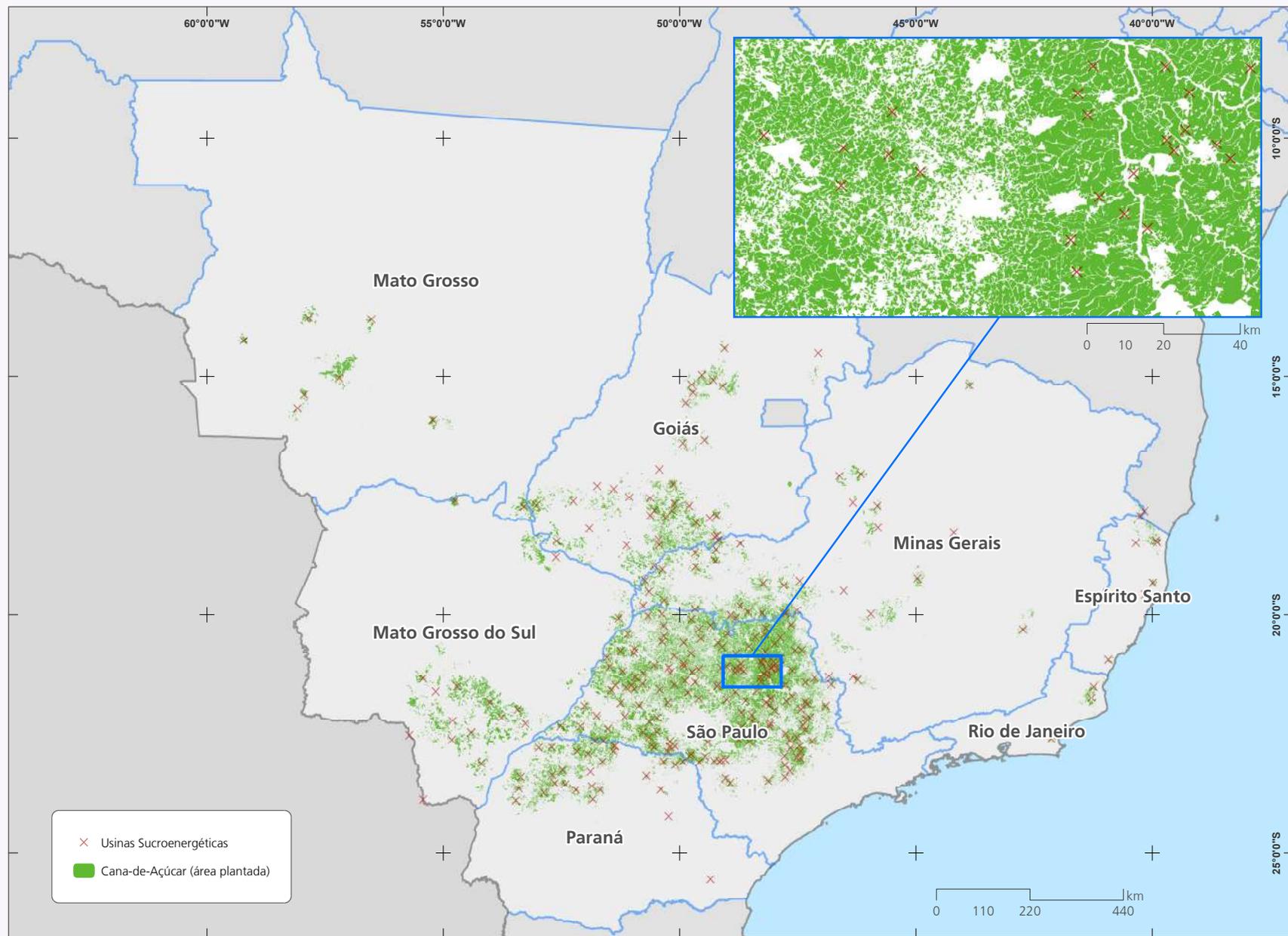


Figura 3. Área cultivada com cana-de-açúcar na safra 2015/16 e usinas sucroenergéticas no Centro-Sul brasileiro

Fonte: Agrosatélite (2016) - área cultivada  
Conab - usinas sucroenergéticas

### 3.3 Deficiência Hídrica Climática

A análise da deficiência hídrica climática do Brasil para o cultivo da cana-de-açúcar tem por finalidade apresentar as regiões com maior ou menor aptidão edafoclimática para produção de cana em larga escala. Esta análise foi realizada, num primeiro momento, para um período mais longo considerando uma série histórica de dados meteorológicos de 15 anos e, num segundo momento, para o período de crescimento e desenvolvimento dos canaviais colhidos na safra 2015/16, foco do presente estudo. Para o período mais longo foi utilizado um conjunto de variáveis meteorológicas de uma série temporal de dados coletados de 1997 a 2012: temperatura mínima, temperatura máxima, evapotranspiração potencial (ET<sub>o</sub>) e precipitação (Xavier et al., 2015) – e a Capacidade de Água Disponível (CAD) dos solos (CNPTIA/Embrapa). Para o cálculo da estimativa da deficiência hídrica referente à safra 2015/16 foi utilizando o mesmo procedimento metodológico, porém as variáveis meteorológicas vieram dos modelos *Weather Research and Forecasting* (WRF) e *Climate Prediction Center* (CPC).

A Deficiência Hídrica (DEF) é a quantidade de água que a cultura necessita para suprir plenamente sua demanda a fim de expressar plenamente o potencial produtivo na ausência de outros fatores limitantes ao crescimento. Portanto, a deficiência hídrica é o parâmetro que melhor representa o impacto da falta de água na boa formação da produtividade agrícola da cultura da cana. A DEF é obtida a partir da diferença entre a Evapotranspiração Máxima (ET<sub>m</sub>) e a Evapotranspiração Real (ET<sub>r</sub>), ou seja, quanto menor essa diferença melhor a cultura está sendo suprida pela água disponível no solo. Neste estudo o cálculo foi realizado com base no balanço hídrico proposto por Thornthwaite-Mather (1955), tal como em diversos outros estudos (Doorembos e Kassam, 1979; Mota, 1979; Marin et al., 2006; Monteiro e Sentelhas, 2014).

### 3.4 Classificação da cana irrigada

A classificação das áreas de cana irrigada foi realizada com base em imagens de satélites de sensoriamento remoto transformadas num índice de vegetação, cujos menores valores (próximos a zero) indicam pouca ou nenhuma biomassa, enquanto os maiores valores (próximos de 1) indicam maior presença de biomassa verde. Este índice tem sido amplamente utilizado nas mais diversas aplicações relacionadas com a obtenção de informações sobre a vegetação sendo, de certa forma, uma expressão de diversos fatores tais como clima, solo e manejo sobre as condições de crescimento e desenvolvimento da vegetação.

Medidas frequentes deste índice ao longo do período de crescimento e desenvolvimento da cultura da cana podem ser utilizadas para descrever a dinâmica do crescimento vegetativo, identificar os períodos de plantio e de colheita e até mesmo identificar diferenças de manejo entre áreas irrigadas e de sequeiro. Medidas quase que diárias do índice de vegetação coletadas a partir do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites Terra e Aqua passaram a ser disponibilizadas sobre todo território nacional desde o ano 2000 com uma resolução espacial de 250 x 250 m (6,25 ha).

No presente estudo o índice de vegetação denominado *Enhanced Vegetation Index* (EVI), calculado a partir de bandas espectrais do azul, vermelho e do infravermelho próximo do sensor MODIS, foi utilizado para identificar feições que caracterizam a prática da irrigação em canaviais na safra 2015/16. Após uma série de pré-processamentos das imagens MODIS, tais como correções geométricas, atmosféricas e de visada, seleção dos pixels de melhor qualidade (eliminação de pixels com contaminação de nuvem e sombra de nuvem), entre outras, a NASA disponibiliza, sem custo para o usuário, as séries temporais dessas imagens.



A Figura 4 ilustra, na parte inferior, a série temporal de um único pixel EVI/MODIS de uma lavoura de cana irrigada por pivô central no município de Paracatu-MG. A localização deste pixel MODIS pode ser visualizada na imagem do *Google Earth* pelo “balão azul” no interior de um pivô central apresentado na parte superior da Figura 4. Nota-se que a série temporal referente a este pixel MODIS fornece um registro histórico da dinâmica de uso ocorrida nesta área específica. Constatase que entre as safras 2000/01 e 2006/07 esta área estava ocupada com lavouras temporárias (típico de duas safras ao ano: soja seguido de milho). Em meados de 2007 a área foi convertida para cana, onde se observa que o aumento gradual do EVI está associado com o início do ganho de biomassa verde, enquanto a queda abrupta dos valores de EVI está associada à colheita que remove toda biomassa.

A região do município de Paracatu-MG é caracterizada por um longo período seco e com deficiência hídrica pronunciada onde o cultivo da cana somente se viabiliza com a prática da irrigação. Nota-se que o período em que a cultura permanece com baixos valores de EVI após cada colheita é muito reduzido, pois logo após a colheita o índice volta a subir em função da disponibilidade de água para a cultura fornecida pela irrigação o que favorece o rápido ganho de biomassa, conforme destacado na Figura 4.

Já na Figura 5, cuja série temporal também se refere a um pixel EVI/MODIS de uma área de cana, nota-se que o índice permanece com valores baixos por um período prolongado, conforme destacado, e só começa a subir com o início das chuvas do período chuvoso, sugerindo que esta lavoura não foi irrigada e, conseqüentemente, o ganho de biomassa durante o período seco esteve quase ausente.



Fonte: SatVeg/Embrapa (2016)

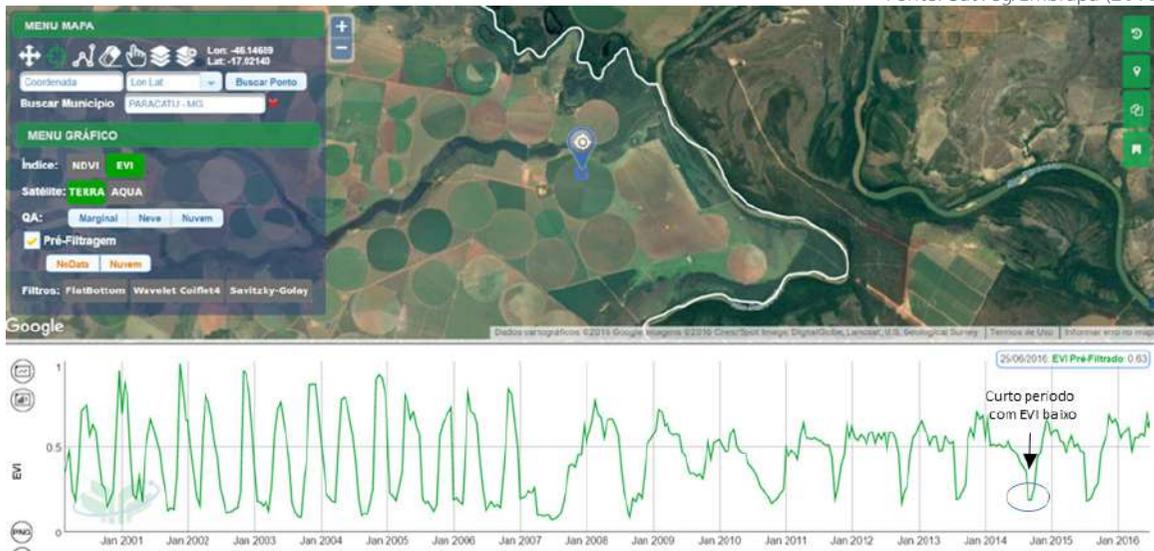


Figura 4. Trajetória do índice de vegetação (EVI/MODIS) de 2001 a 2016 de um pixel em área de cana, no município de Paracatu/MG.

Nota: A trajetória do índice demonstra uma área agrícola cultivada com soja/milho safrinha (2001 a 2007), passando para cana irrigada em pivô central a partir de 2007, destacando o curto período de baixos valores de EVI após a colheita em meados de 2014 (comportamento de área irrigada).

Fonte: SatVeg/Embrapa (2016)

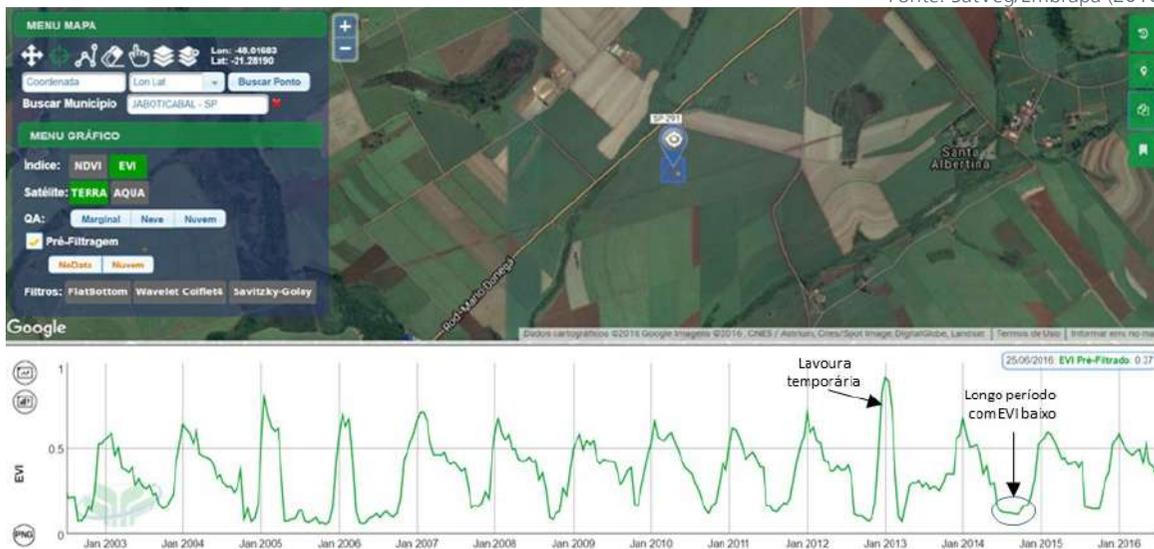


Figura 5. Trajetória do índice de vegetação (EVI/MODIS) de 2001 a 2016 de um pixel em área de cana, no município de Jaboticabal/SP.

Nota: A trajetória do índice demonstra uma lavoura de cana de sequeiro, reformada com rotação de cultura em 2004/05, 2005/06 e 2012/13, destacando o longo período de baixos valores de EVI após a colheita em meados de 2014 (comportamento de área não irrigada).

Fonte: SatVeg/Embrapa (2016)

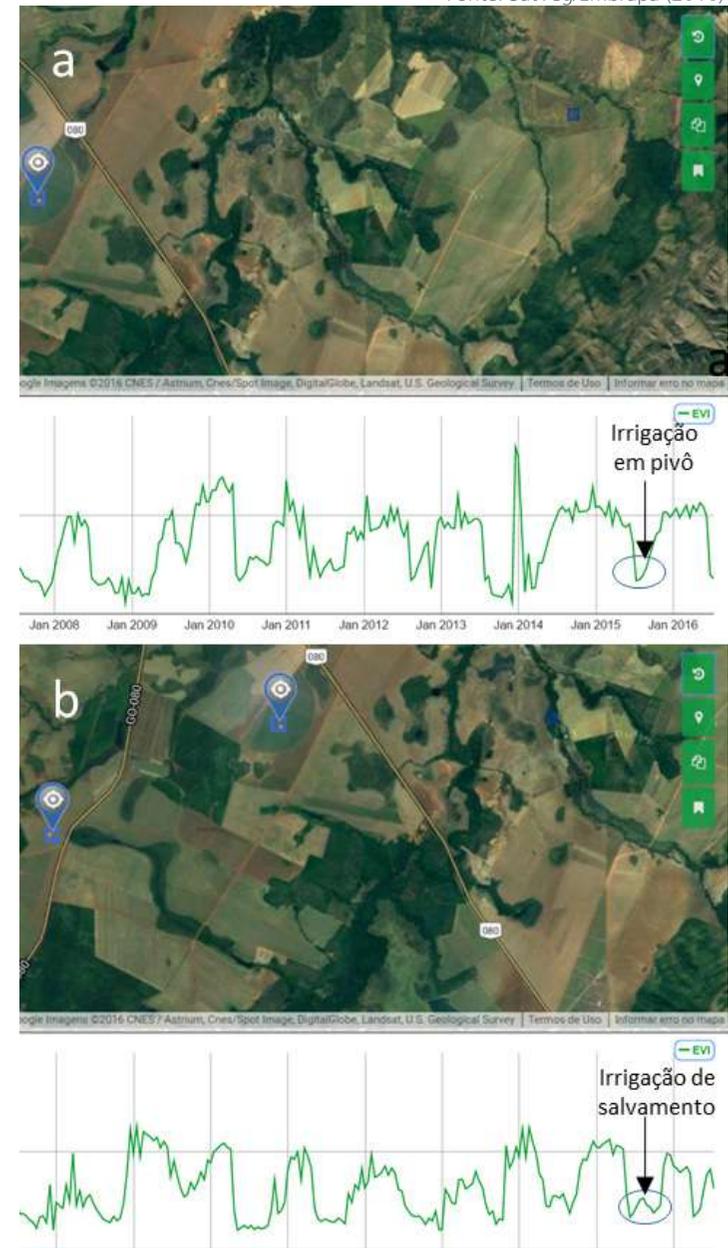


Figura 6. Trajetória do índice de vegetação (EVI) de 2008 a 2016 de pixels em área de cana, no município de Goianésia/GO.

Nota: (a) cana irrigada em pivô em 2015; (b) cana que recebeu irrigação de salvamento em 2015.

Os dois casos extremos de lavoura de cana irrigada e de sequeiro apresentados nas Figura 4 e 5, respectivamente, permitem explicar o impacto da irrigação (Figura 4), ou da falta da mesma (Figura 5), sobre o crescimento vegetativo da cana logo após a colheita, expressa na dinâmica dos valores de EVI.

A água não é o único fator que afeta o bom crescimento e desenvolvimento da lavoura canavieira, mas é sem dúvida um fator preponderante, em especial, nas regiões que apresentam maior déficit hídrico. Portanto, não é de se esperar que uma cana sob condições de intenso estresse hídrico possa apresentar um crescimento satisfatório. Contrariamente, não se espera que uma cana irrigada apresente um crescimento insatisfatório, por exemplo, por questões de manejo inadequado, pressuposto que o alto custo da irrigação costuma ser acompanhado de boas práticas agrônômicas para que de fato haja ganhos significativos na produtividade do canavial.

Durante as visitas às usinas que adotam intensamente a prática da irrigação, como por exemplo, a Usina Jalles Machado, situada no município de Goianésia-GO, onde a deficiência hídrica é intensa, verificou-se que a princípio a irrigação de salvamento poderia ser identificada nas imagens do EVI/MODIS. A Figura 6 ilustra a série temporal do EVI para uma área de cana com irrigação semiplena (irrigação com déficit) por pivô central (a) e para uma área com irrigação de salvamento por hidro roll (b). Na Figura 6 (a), tal como na Figura 4, o EVI aumenta rapidamente após a colheita em meados de 2015 em função da maior disponibilidade de água proporcionada pela irrigação com deficiência (semiplena). Já na Figura 6 (b) observa-se um primeiro pico de crescimento, após a colheita em meados de 2015, seguido de um crescimento mais intenso com o início das chuvas da primavera. Essa dinâmica de crescimento é típica de uma lavoura que recebeu irrigação de salvamento.

Com base na dinâmica do índice de vegetação e da sua relação com a prática da irrigação na cultura canavieira, conforme exemplificado, foram definidas algumas métricas que visam expressar ou sintetizar certas sutilezas contidas nas séries temporais das imagens para posterior utilização no processo de classificação das áreas irrigadas e de sequeiro.

A construção das métricas foi pautada em características específicas observadas nas séries temporais do índice de vegetação, principalmente durante o período seco e após a colheita, quando a diferença entre as lavouras de cana com e sem irrigação fica mais evidente. Por exemplo, uma das métricas consideradas se refere ao número de dias após a colheita em que os valores de EVI permaneceram abaixo de um determinado limiar. Se os valores de EVI aumentam rapidamente indica um acele-

rado ganho de biomassa num curto intervalo e, conseqüentemente, alta probabilidade de ser uma área irrigada. Se, por outro lado, são necessários diversos dias até que os valores de EVI atinjam um certo limiar, isto indica que o ganho de biomassa é lento devido à intensa deficiência hídrica no período seco e, conseqüentemente, alta probabilidade de não ser irrigada. Diversas outras métricas foram derivadas deste mesmo conceito que relaciona a maior ou menor deficiência hídrica observada no período seco com maior ou menor ganho de biomassa da cultura da cana.

Cabe ressaltar que as visitas a campo e as discussões com especialistas em irrigação de canaviais forneceram os elementos necessários para definição das métricas extraídas das séries temporais das imagens de satélite, fundamentais na identificação das áreas irrigadas.

A aplicação das métricas para diferenciação entre áreas irrigadas e não irrigadas ocorreu por meio de classificadores de imagens denominados K-means e Random Forest. Cabe ressaltar que as classificações foram aplicadas por faixa de deficiência hídrica para os canaviais da safra 2015/16, pois a dinâmica do índice de vegetação difere em função da intensidade da deficiência hídrica. As áreas de cana irrigadas em pivôs e sistemas lineares receberam uma análise mais refinada por meio de imagens de alta resolução espacial que permitem detalhar o mapeamento dessas áreas. Adicionalmente, as lavouras de cana identificadas como irrigadas, com base na hipótese do estudo, passaram por refinamentos que consideram a época de colheita e o armazenamento de água no solo em função da ocorrência de chuvas no período seco que pode ter impacto semelhante ao da irrigação por salvamento na dinâmica de crescimento e desenvolvimento dos canaviais.

Considerando as diferentes características dos tipos de irrigação tanto em termos de abrangência da área em que se adota a irrigação quanto em termos da quantidade de água aplicada, optou-se por analisar de forma separada os canaviais cultivados dentro e fora dos pivôs e sistemas lineares. As áreas de cana em pivôs centrais e sistemas lineares foram classificadas em: a) irrigação plena; e b) irrigação com déficit, muito embora foram observadas lavouras de cana com irrigação de salvamento e até mesmo sem irrigação sob pivôs centrais e sistemas lineares. As áreas de cana fora de pivôs centrais e sistemas lineares foram classificadas em: a) salvamento; e b) sem irrigação. Entre os canaviais classificados como “sem irrigação”, se encontram também canaviais que receberam algum tipo de irrigação, mas não apresentaram resposta vegetativa significativa, ou seja, a cana não foi responsiva à irrigação.

# 4 Resultados



Cana-de-açúcar às margens do rio Paranapanema (divisa São Paulo-Paraná), na altura de Salto Grande (SP)  
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

## 4.1 Deficiência Hídrica

A Figura 7 ilustra a deficiência hídrica (DEF) média mensal e anual acumulada ao longo de 12 meses para canaviais plantados (cana planta de ano) ou rebrotados (soqueiras), de janeiro a dezembro, considerando a média do período 1997-2012. A Figura 8 ilustra o mesmo dado, entretanto, considerando apenas os resultados de DEF para a safra 2015/2016 - referência para o mapeamento das áreas irrigadas.

Na região Centro-Sul, as canas que iniciam o ciclo de crescimento no período seco (outono/inverno) apresentam menor DEF, pois nas etapas iniciais de crescimento demandam menos água e quando atingem maiores taxas de crescimento se inicia o período chuvoso (primavera/verão), coincidente com a maior demanda de água pela cultura, favorecendo a boa formação da produtividade (Figura 7). Contrariamente, as canas que iniciam o ciclo de crescimento no período chuvoso (primavera/verão) se desenvolvem bem nos primeiros meses de crescimento, mas sofrem estresse no período seco (outono/inverno), justamente durante a maior demanda de água pela cultura, ocasionando redução na produtividade (Figura 7).

A observação das Figuras 7 e 8 reitera que as deficiências hídricas que impactaram os canaviais na safra 2015/16 foram muito superiores às deficiências hídricas observadas no período de 1997 a 2012, o que se torna mais evidente na observação das respectivas médias anuais. São Paulo, principal produtor de cana do Brasil, e outras importantes regiões produtoras como o Triângulo Mineiro e o Sudoeste Goiano destacam-se pelo impacto da maior deficiência desta safra em relação à média histórica.

Nota-se ainda que, se considerada apenas a disponibilidade de água, as regiões Sul e Norte do Brasil apresentariam características ideais para o cultivo da cana-de-açúcar. Entretanto, salienta-se que não são considerados nestes mapas os limites referentes ao risco de geada e temperatura média anual além da necessária deficiência hídrica e/ou térmica antes da colheita, para maturação da cana.

**MÉDIA 1997 a 2012**

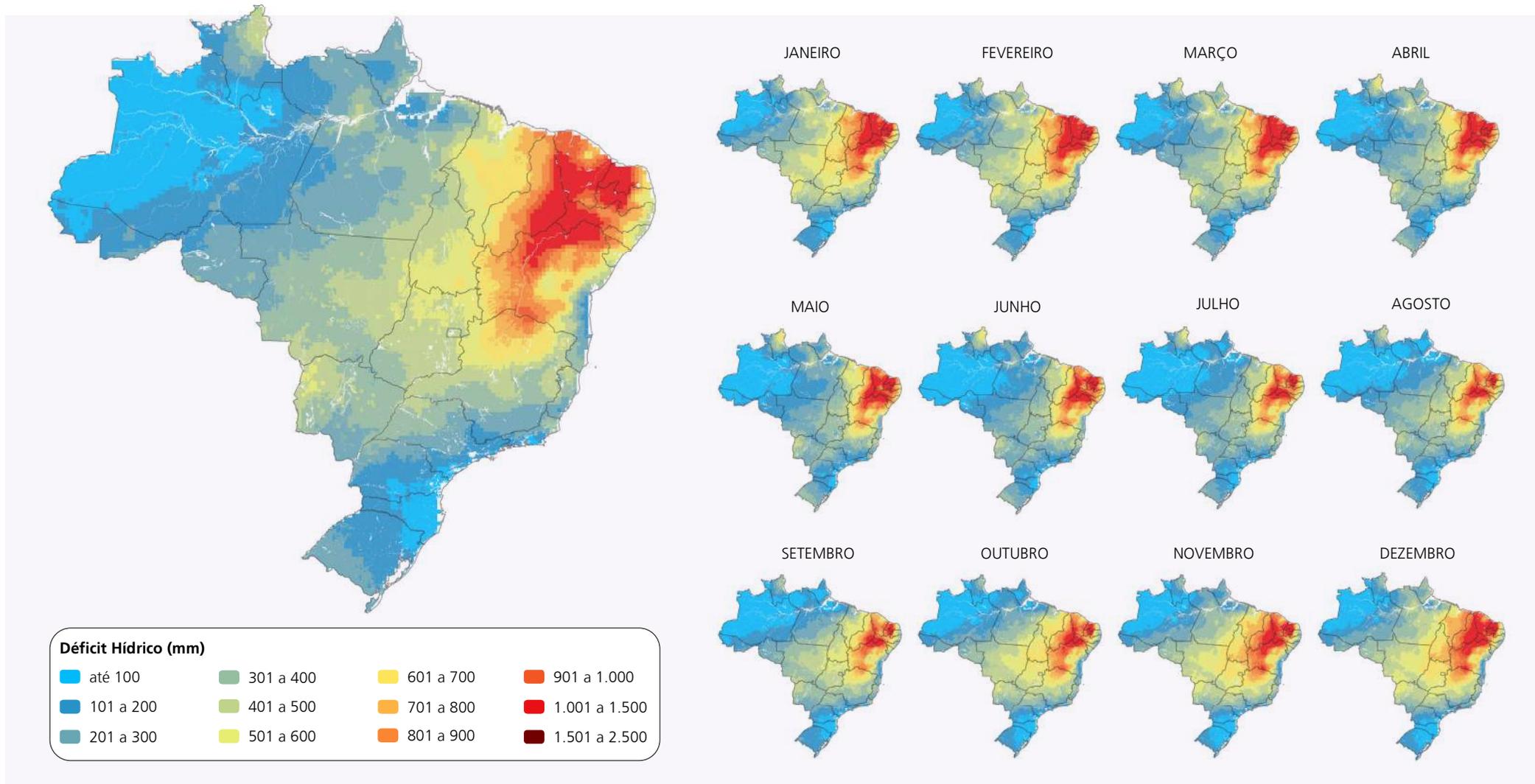


Figura 7. Deficiência hídrica mensal e média anual - média 1997 a 2012.

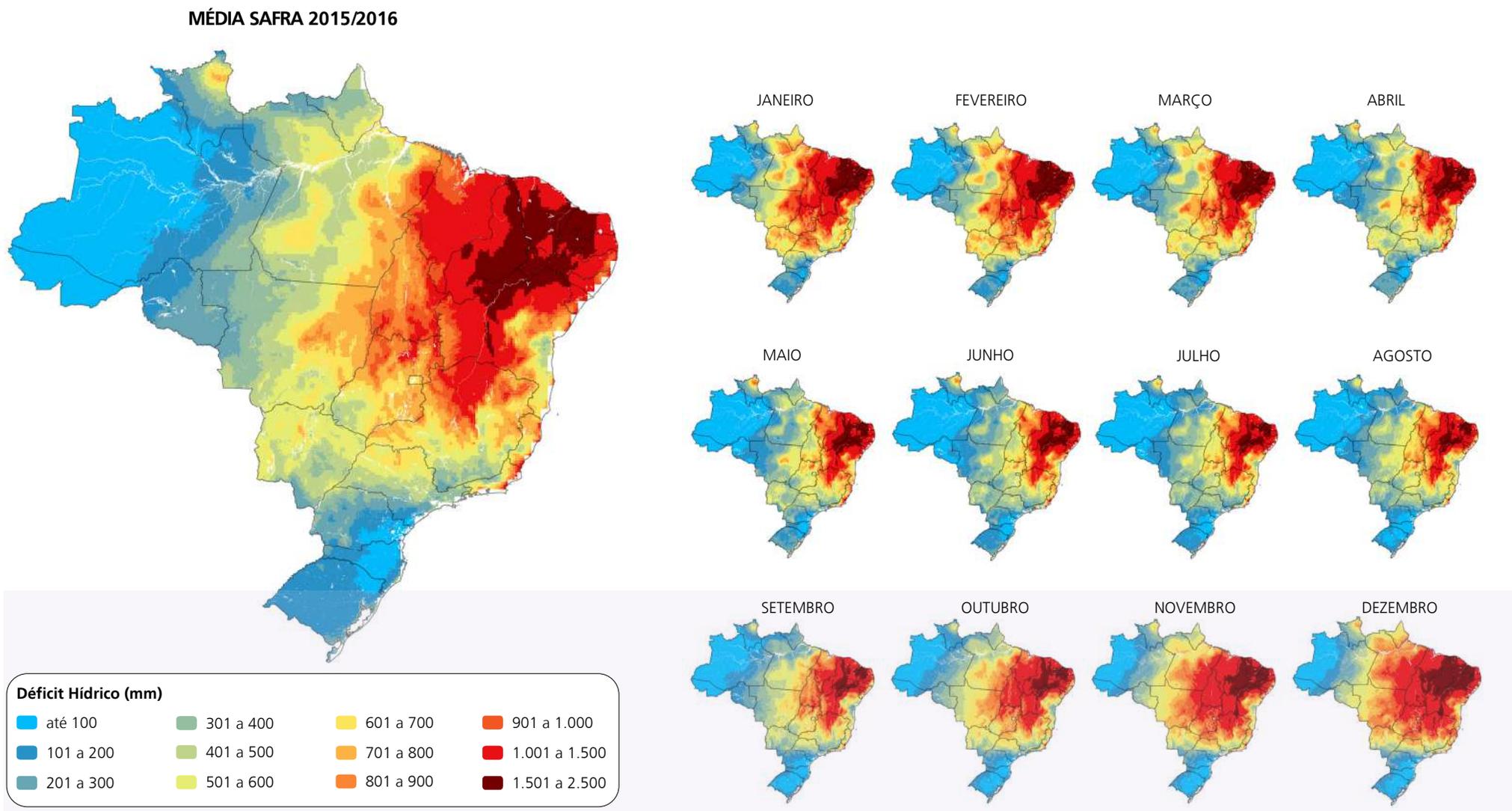


Figura 8. Deficiência hídrica mensal e média anual - safra 2015-2016.

## 4.2 Áreas Irrigadas de Cana-de-açúcar

As Figuras 10 e 11 sintetizam os resultados da área de cana irrigada para toda a região Centro-Sul. Ao todo, aproximadamente 1,72 milhões de hectares são irrigados (cerca de 17% da cana cultivada na região), sendo que os estados de São Paulo, Goiás e Minas Gerais possuem as maiores áreas de cultivo de cana irrigada. Do total de cana irrigada, 1,69 milhões de hectares (98,4%) é para salvamento (S) e apenas 27,2 mil hectares (1,58% do total irrigado) é irrigada de forma plena (P) ou com déficit (ID).

A área de cana sob pivôs centrais e sistemas-lineares totalizou 57,0 mil hectares. Entretanto a aplicação de irrigação plena ou com déficit nessas condições foi identificada em apenas 27,2 mil hectares. O restante dos canais sob pivôs centrais ou sistemas lineares (29,8 mil hectares), apresentou resultados compatíveis com a irrigação de salvamento, não demonstrando vigor vegetativo equivalente aos classificados como sob irrigação plena ou com déficit.

A Figura 10 também apresenta a área de cana irrigada por tipo de irrigação. Destaca-se nesta tabela que o estado de São Paulo responde por quase a metade (45,8%) da área com irrigação de salvamento. Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul respondem por 22,3%, 19,4% e 6,6% da área com irrigação de salvamento, respectivamente. Esses quatro estados respondem por 94% da área de irrigação de salvamento e por 89% da produção de etanol da região Centro-Sul, justificando a grande quantidade de vinhaça (10 litros de vinhaça, em média, para cada litro de etanol) disponível para aplicação na irrigação de salvamento.

Já as áreas de irrigação com déficit estão concentradas em Goiás, com 6.970 hectares (48,3%) e Minas Gerais, com 7.456 hectares (51,7%). No Centro Sul, foram encontradas áreas com irrigação plena apenas em Minas Gerais, com 12.824 hectares (Figura 10).

A Figura 11 apresenta um resumo dos resultados de área irrigada por município do Centro-Sul brasileiro. A Figura 12 apresenta a relação por município entre a área irrigada identificada e a área cultivada. Pode-se observar nestas figuras tanto as concentrações de áreas irrigadas no sentido de aumento do déficit hídrico para a cana, como na região do Triângulo Mineiro e do Sudeste e Norte Goiano, como nas grandes regiões produtoras onde o salvamento é adotado em grande escala para dispersão, especialmente no Estado de São Paulo.

Os resultados apontam que 375 municípios da região Centro-Sul apresentaram pelo menos mil hectares de cana irrigados na safra 2015/2016. Destes, 101 municípios apresentaram áreas superiores a cinco mil hectares (Tabela 2), concentrando 55% da área total mapeada principalmente em Minas Gerais, Goiás e São Paulo.

Por fim, ressalta-se que a conhecida proximidade das áreas irrigadas com as usinas sucroenergéticas pode ser melhor caracterizada com os resultados deste estudo. Observa-se que na região Centro-Sul 43% destas áreas estão a até 10 km de distância da usina mais próxima; 66% a até 15 km; 82% a até 20 km; e 95% a até 30 km de distância (Figura 9).

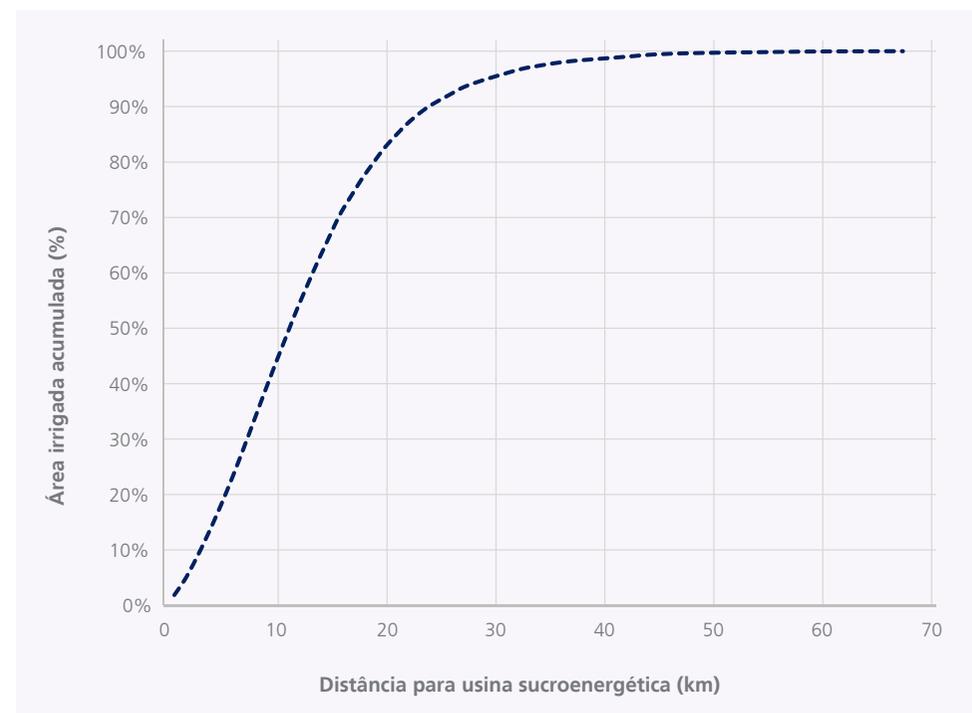


Figura 9. Relação área irrigada x distância para usinas sucroenergéticas.

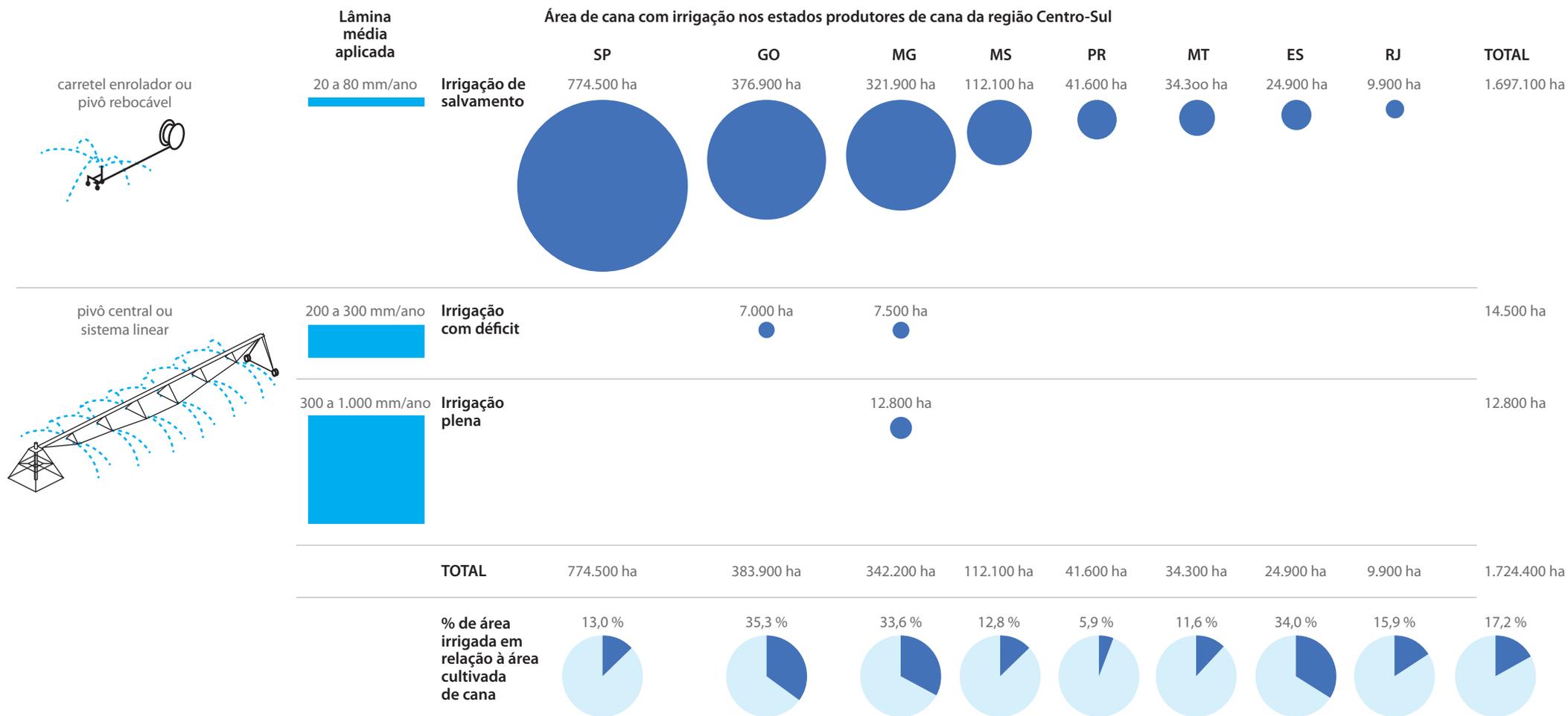


Figura 10. Resumo dos resultados do levantamento da cana-de-açúcar irrigada, por Estado e total.

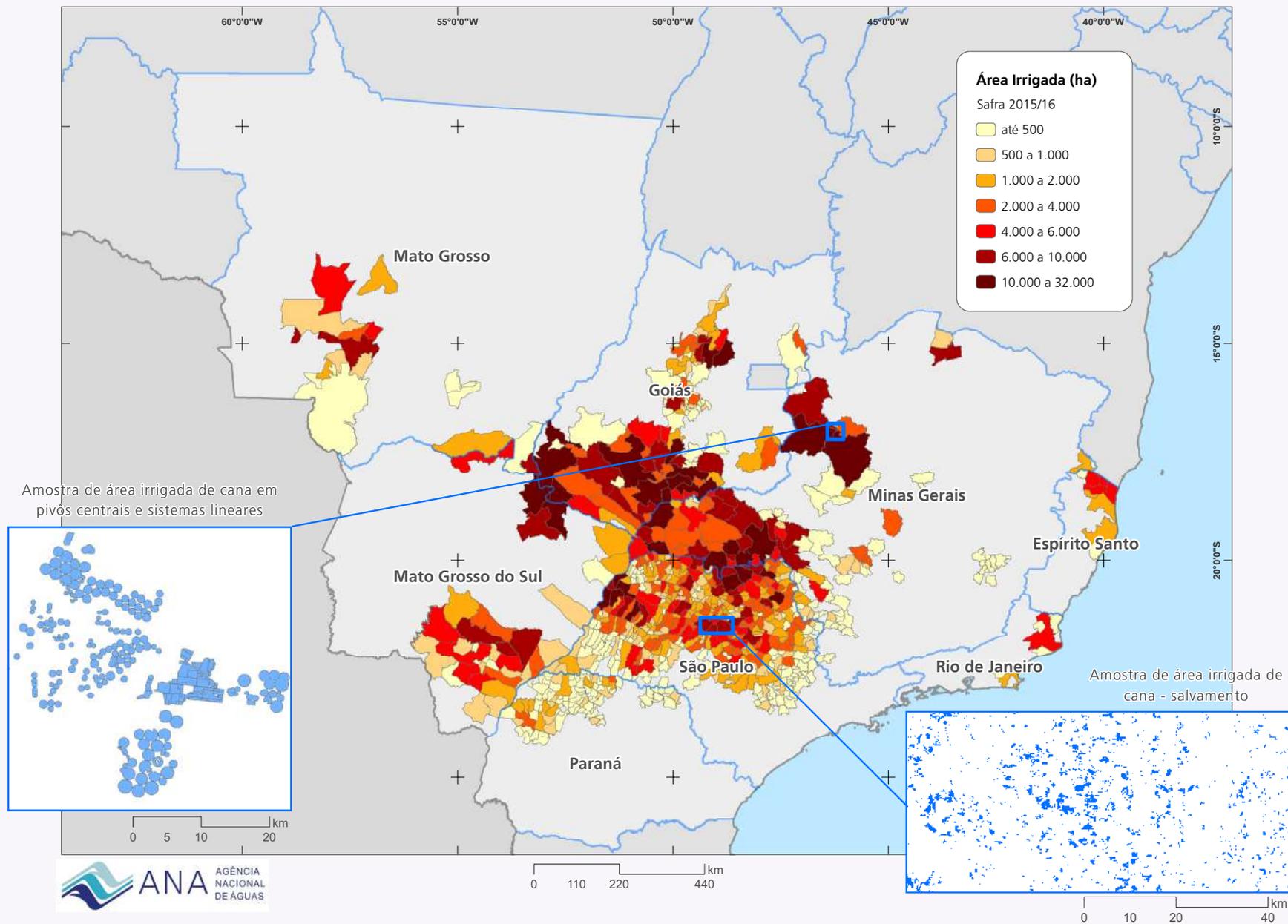


Figura 11. Resultados do mapeamento de irrigação em cana-de-açúcar por município – safra 2015/16.

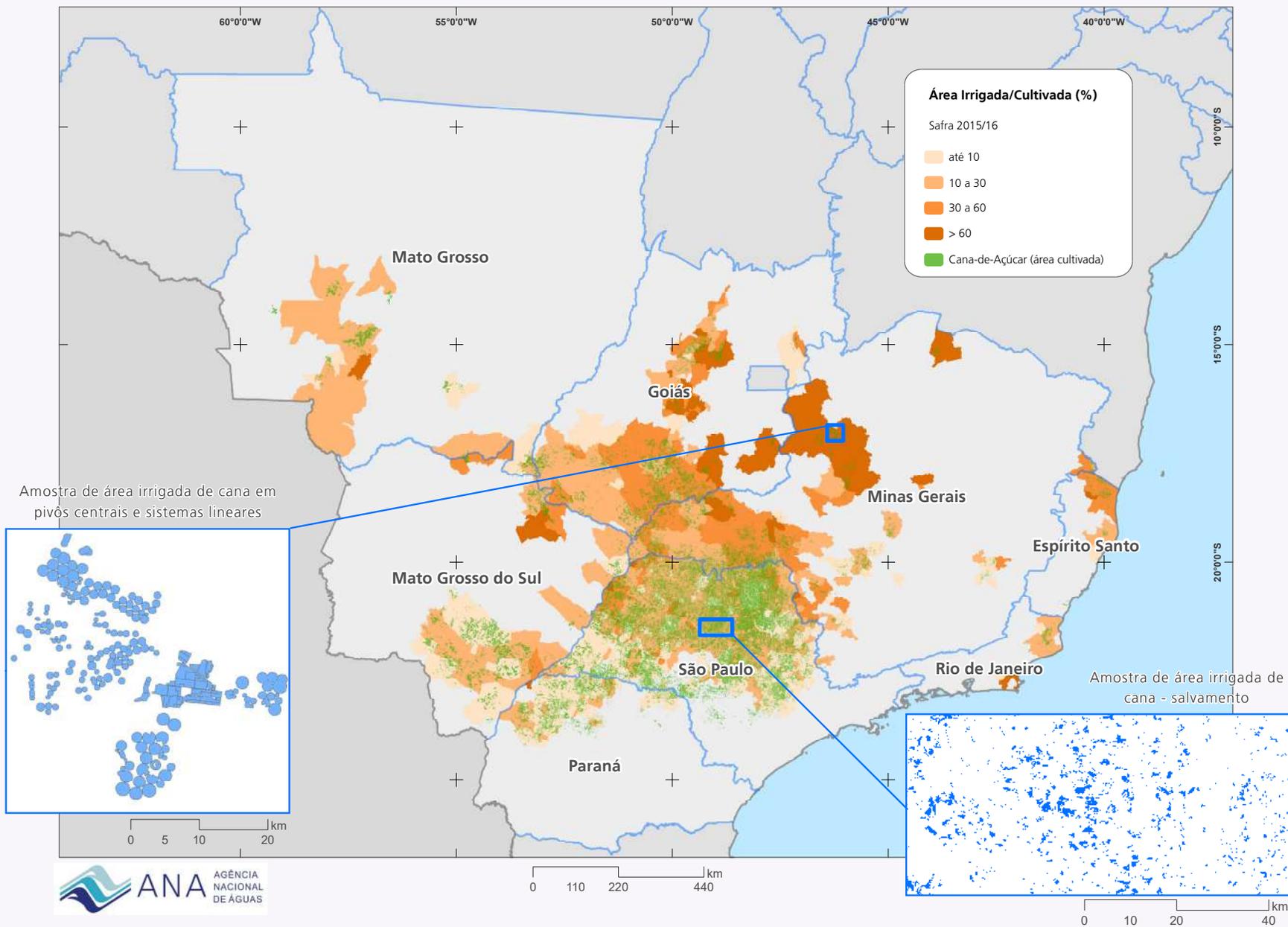


Figura 12. Proporção área irrigada/área cultivada em cana-de-açúcar por município – safra 2015/16.

Tabela 2. Municípios com área irrigada de cana-de-açúcar superior a cinco mil hectares e proporção área irrigada / área plantada.

| UF | Município             | Área Irrigada (ha) | Área Irrigada/Área Cultivada (%) | Continuação |                       | UF    | Município | Área Irrigada (ha) | Área Irrigada/Área Cultivada (%) |                    |                                  |
|----|-----------------------|--------------------|----------------------------------|-------------|-----------------------|-------|-----------|--------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------------|
|    |                       |                    |                                  | UF          | Município             |       |           |                    |                                  | Área Irrigada (ha) | Área Irrigada/Área Cultivada (%) |
| MG | Uberaba               | 32.331             | 37,9%                            | MS          | Paraíso das Águas     | 9.077 | 60,1%     | SP                 | Colômbia                         | 6.369              | 20,9%                            |
| GO | Quirinópolis          | 30.901             | 40,1%                            | MG          | Limeira do Oeste      | 9.059 | 32,6%     | MG                 | Uberlândia                       | 6.360              | 41,4%                            |
| MG | João Pinheiro         | 30.354             | 75,4%                            | GO          | Santa Isabel          | 8.816 | 70,3%     | SP                 | Taquaritinga                     | 6.255              | 20,2%                            |
| GO | Goiatuba              | 25.538             | 55,6%                            | GO          | Caçu                  | 8.627 | 28,4%     | GO                 | Turvelândia                      | 6.255              | 29,3%                            |
| MG | Paracatu              | 21.725             | 100,0%                           | GO          | Morrinhos             | 8.589 | 62,4%     | SP                 | Guaraci                          | 6.220              | 21,6%                            |
| GO | Itumbiara             | 20.720             | 40,6%                            | GO          | Acreúna               | 8.528 | 32,9%     | MG                 | Sacramento                       | 6.142              | 41,4%                            |
| MG | Santa Vitória         | 18.266             | 36,6%                            | GO          | Paranaiguara          | 8.456 | 37,0%     | GO                 | Vicentinópolis                   | 6.133              | 35,2%                            |
| GO | Rio Verde             | 17.263             | 46,9%                            | MG          | Monte Alegre de Minas | 8.420 | 61,7%     | MG                 | Itapagipe                        | 6.111              | 28,9%                            |
| MG | Frutal                | 17.068             | 25,3%                            | GO          | São Luiz do Norte     | 8.339 | 49,7%     | SP                 | Guararapes                       | 6.078              | 14,6%                            |
| MS | Costa Rica            | 16.825             | 29,2%                            | MS          | Rio Brilhante         | 8.123 | 8,0%      | SP                 | Bebedouro                        | 6.001              | 17,0%                            |
| GO | Vila Propício         | 16.512             | 69,2%                            | SP          | Jaboticabal           | 7.901 | 15,8%     | MG                 | Araporã                          | 5.893              | 52,4%                            |
| GO | Edéia                 | 15.750             | 46,8%                            | SP          | Itápolis              | 7.817 | 16,1%     | SP                 | Boa Esperança do Sul             | 5.854              | 19,1%                            |
| GO | Mineiros              | 15.052             | 23,0%                            | MG          | Veríssimo             | 7.544 | 40,9%     | MS                 | Caarapó                          | 5.807              | 23,1%                            |
| MG | Iturama               | 15.006             | 43,3%                            | GO          | Jataí                 | 7.500 | 26,9%     | GO                 | Aporé                            | 5.756              | 26,0%                            |
| SP | Andradina             | 14.547             | 38,9%                            | SP          | Mirandópolis          | 7.398 | 27,0%     | SP                 | Planalto                         | 5.702              | 36,4%                            |
| SP | Ituverava             | 14.399             | 34,6%                            | SP          | Colina                | 7.303 | 31,0%     | SP                 | Guaraçaí                         | 5.675              | 32,2%                            |
| MG | Conceição das Alagoas | 13.756             | 31,0%                            | MT          | Alto Taquari          | 7.283 | 18,5%     | SP                 | Cafelândia                       | 5.645              | 17,0%                            |
| SP | Barretos              | 13.588             | 18,2%                            | MS          | Angélica              | 7.222 | 13,9%     | SP                 | Iacanga                          | 5.608              | 27,0%                            |
| GO | Chapadão do Céu       | 13.314             | 45,9%                            | MT          | Barra do Bugres       | 7.204 | 14,3%     | MG                 | Água Comprida                    | 5.531              | 32,8%                            |
| SP | Castilho              | 12.015             | 38,4%                            | SP          | Borborema             | 7.171 | 25,2%     | SP                 | Araçatuba                        | 5.501              | 15,5%                            |
| MS | Chapadão do Sul       | 11.910             | 53,2%                            | GO          | Santa Helena de Goiás | 7.140 | 23,0%     | MG                 | Ituiutaba                        | 5.459              | 24,0%                            |
| GO | Bom Jesus de Goiás    | 11.824             | 43,0%                            | MG          | Tupaciguara           | 7.097 | 57,5%     | SP                 | Rancharia                        | 5.432              | 12,2%                            |
| SP | Pereira Barreto       | 11.590             | 42,4%                            | MG          | Nova Ponte            | 7.081 | 76,3%     | GO                 | Paraúna                          | 5.419              | 41,9%                            |
| GO | Goianésia             | 11.465             | 61,0%                            | SP          | Olimpia               | 7.069 | 17,7%     | ES                 | Pinheiros                        | 5.281              | 47,8%                            |
| SP | Ilha Solteira         | 11.435             | 58,0%                            | SP          | Itapura               | 7.043 | 67,0%     | SP                 | Itajobi                          | 5.217              | 19,3%                            |
| MG | Campo Florido         | 11.286             | 31,0%                            | MG          | Unai                  | 6.995 | 100,0%    | SP                 | Palestina                        | 5.207              | 19,2%                            |
| SP | Valparaíso            | 10.942             | 22,1%                            | GO          | Anicuns               | 6.880 | 64,4%     | MT                 | Campo Novo do Parecis            | 5.153              | 15,9%                            |
| SP | Batatais              | 10.705             | 26,2%                            | MG          | Perdizes              | 6.858 | 37,5%     | GO                 | Cachoeira Dourada                | 5.143              | 35,5%                            |
| SP | Guaira                | 10.314             | 16,8%                            | SP          | Tanabi                | 6.817 | 26,5%     | MT                 | Denise                           | 5.131              | 11,9%                            |
| GO | Gouvelândia           | 10.292             | 32,3%                            | SP          | Paulo de Faria        | 6.752 | 22,2%     | SP                 | Matão                            | 5.103              | 21,8%                            |
| SP | Araraquara            | 9.966              | 23,4%                            | SP          | Miguelópolis          | 6.717 | 17,4%     | ES                 | Conceição da Barra               | 5.102              | 44,5%                            |
| SP | José Bonifácio        | 9.948              | 26,5%                            | MG          | Pirajuba              | 6.570 | 49,1%     | GO                 | Inaciolândia                     | 5.054              | 29,4%                            |
| MG | Jaíba                 | 9.616              | 100,0%                           | MS          | Nova Andradina        | 6.553 | 14,5%     | MG                 | Conquista                        | 5.023              | 29,9%                            |
| SP | Novo Horizonte        | 9.323              | 23,1%                            | SP          | Jardinópolis          | 6.379 | 21,6%     |                    |                                  |                    |                                  |

Continua

Continua

# 5 Considerações Finais



Cana-de-açúcar às margens do rio das Cinzas, entre Bandeirantes (PR) e Andirá (PR)  
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

Como se sabe, a grande disponibilidade hídrica existente no Brasil não é igualmente distribuída no território. As demandas pela água também não são distribuídas de acordo com a disponibilidade, mas em função de outros aspectos físicos, econômicos, políticos e sociais.

A agricultura irrigada – principal e mais dinâmico setor usuário de recursos hídricos – carece de dados e informações em escalas temporais e espaciais adequadas ao melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos. A ANA tem desenvolvido estudos dedicados a este tema, entre os quais se insere o Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada na Região Centro-Sul do Brasil.

Este levantamento contou com grandes esforços de desenvolvimento metodológico, incluindo a aplicação de técnicas e ferramentas de processamento de grandes volumes de dados, e reflete o estado da arte do que se pode extrair de informações de sensoriamento remoto para caracterização da irrigação em cana-de-açúcar. As séries temporais de índices de vegetação de imagens de satélite carregam em si informações relevantes acerca de aspectos que caracterizam a dinâmica de crescimento e desenvolvimento das lavouras de cana irrigada. As métricas fenológicas visam extrair as informações expressas nestas séries permitindo identificar e classificar as lavouras de cana com aspecto de áreas irrigadas.

Dentre os principais resultados, pode-se destacar que a deficiência hídrica média dos canaviais na safra 2015/16 foi muito superior à média do período 1997-2012, em decorrência da seca atípica observada entre os anos de 2014 e 2015, que afetou grande parte dos canaviais da região Centro-Sul. Neste trabalho, além de permitir a constatação de causa-efeito sobre os canaviais, a deficiência hídrica calculada também foi fundamental no processo de associação das classes de cana aos diferentes tipos de irrigação.

Em relação à classificação dos tipos de irrigação, especialmente a controversa irrigação de salvamento, o estudo adotou a resposta fisiológica das plantas à irrigação (produção de biomassa) como premissa e parâmetro central de discriminação entre canaviais irrigados e não irrigados. Assim, canaviais localizados em regiões com baixo déficit hídrico, com irrigação mal manejada ou que receberam lâminas muito baixas de irrigação, dificilmente são contabilizados nesta metodologia, por não apresentarem diferenciação de resposta mensurável em relação à cana não irrigada.

Os resultados alcançados no levantamento apontam para uma área de cana irrigada de cerca de 1,72 milhões de hectares na safra 2015/16 na região Centro-Sul, demonstrando também a importância dos estados de São Paulo (45,0% da área irrigada), Goiás (22,3%) e Minas Gerais (19,9%) que, em conjunto, respondem por quase 90% da área irrigada na região.

Há, na região Centro-Sul, uma larga predominância da irrigação de salvamento, com 1,69 milhões de hectares (98,4% do total). Apesar do reconhecimento de que nesta modalidade de irrigação são aplicadas lâminas relativamente baixas (via de regra entre 20 e 80 mm) e que, em grande parte está sendo computada também a aplicação de águas já utilizadas pela indústria para diluição de vinhaça, seu impacto não pode ser minimizado, principalmente pela sua presença em bacias hidrográficas onde os balanços hídricos já apresentam conflitos pelo uso da água ou eminência de que venham a acontecer no futuro.

Em relação aos canais irrigados de forma plena ou com déficit, há que se dispensar ainda maior atenção. Estas lavouras, concentradas majoritariamente nos estados de Minas Gerais e Goiás, localizam-se em regiões de intensa deficiência hídrica (chegando a ultrapassar os 700 mm/ano na safra 2015/16) onde o cultivo da cana só se viabiliza economicamente com a adoção de lâminas de irrigação elevadas. A alta demanda pontual, provocada pelas captações de pivôs centrais e sistemas lineares, associada aos longos períodos de estiagem característicos destas regiões, demandam um maior cuidado no planejamento dos setores envolvidos.

Os resultados deste mapeamento e as peculiaridades da irrigação em cana-de-açúcar motivam a continuidade do estudo e seu consequente aprimoramento, incluindo maior intensidade de amostragens de campo e a necessária expansão para a região Nordeste, onde a irrigação é proporcionalmente mais utilizada que no Centro-Sul. Para a gestão de recursos hídricos, este levantamento é fundamental para os cálculos de demanda de uso da água e a consequente atualização dos balanços hídricos, subsidiando a tomada de decisão e as análises de risco com vistas à segurança hídrica do setor sucroenergético e à garantia dos usos múltiplos.

As bases de dados do projeto, assim como materiais adicionais, encontram-se disponíveis no Portal de Metadados da ANA (<http://www.ana.gov.br/metadados>) e no Portal SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre de Recursos Hídricos ([www.snirh.gov.br](http://www.snirh.gov.br)).



Irrigação em cana-de-açúcar em Turvelândia (GO)  
Banco de Imagens ANA

# 6 Referências Bibliográficas



Usina sucroalcooleira às margens do rio Grande em Itapagipe (MG)  
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA: CANA-DE-AÇÚCAR. Brasília: Conab, v. 3, n.3 dez. 2016.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO-Plant Production and Protection, paper no 33. 1979.

FERNANDEZ, G. A. V.; SCHERER-WARREN, M.; BIELENKI Jr, C. Taxas de uso em uma série histórica de pivôs centrais em uma bacia do Cerrado. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 320-331.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

\_\_\_\_\_. **Produção Agrícola Municipal – PAM 2015**. Disponível em: <<http://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 2016.

MARIN, F. R. et al. **Perda de produtividade potencial da cultura do sorgo no Estado de São Paulo**. Bragantia, Campinas, v. 65, n. 1, p. 157-162, 2006.

MONTEIRO, L. A.; SENTELHAS, P. C. Calibration and testing of an agrometeorological model for the estimation of soybean yields in different Brazilian regions. **Acta Scientiarum Agronomy**, vol. 36, p. 265-272, 2014.

MOTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**. São Paulo: Nobel, 1979. 376 p.

RUDORFF, B.F.T.; AGUIAR, D.A.; SILVA, W.F.; SUGAWARA, L.M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M.A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1057-1076, 2010.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Tecnology, 1955.

XAVIER, A. C.; CAREY, W. K.; BRIDGET, R. S. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980 - 2013). **International Journal of Climatology**, 2015. DOI: 10.1002/joc.4518



MINISTÉRIO DO  
MEIO AMBIENTE

