

# BIOELETRICIDADE SUSTENTÁVEL

PROJETO SUCRE

NOVEMBRO DE 2019



## SOBRE O PROJETO SUCRE

O Projeto SUCRE (*Sugarcane Renewable Electricity*) tem como objetivo principal **aumentar a produção de eletricidade com baixa emissão de gases de efeito estufa (GEE) na indústria de cana-de-açúcar, por meio da palha disponibilizada durante a colheita da cana-de-açúcar.** Para tanto, a equipe trabalha na identificação e solução dos problemas que impedem as usinas parceiras de gerarem eletricidade de forma plena e sistemática. Com início em junho de 2015, são ao todo cinco anos de projeto, com financiamento do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF, da sigla em inglês para *Global Environment Facility*) de cerca de US\$ 7.5 milhões e contrapartida do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) de mais de US\$ 3 milhões. No setor privado, o recolhimento e uso da palha para produção de eletricidade alavancou um investimento de cerca de US\$ 160 milhões pelas usinas parceiras (grande parte já realizada com a instalação de estações de limpeza a seco, reforma ou compra de caldeiras, turbogeradores, enfardadoras e outros equipamentos). A iniciativa é gerida em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e implementada pelo Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR), que integra o CNPEM.

## SOBRE O LNBR

O Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) integra o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia Inovação e Comunicações (MCTIC). O LNBR emprega a biomassa e a biodiversidade brasileiras para resolver desafios relevantes para o País por meio de soluções biotecnológicas que promovem o desenvolvimento sustentável de biocombustíveis avançados, bioquímicos e biomateriais. O Laboratório possui diversas Instalações Abertas a Usuários, incluindo a Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos, estrutura singular no país para escalonamento de tecnologias.

## SOBRE O CNPEM

O Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) é uma organização social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Localizado em Campinas-SP, gerencia quatro Laboratórios Nacionais – referências mundiais e abertos às comunidades científica e empresarial. O Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) opera a única fonte de luz síncrotron da América Latina e está, nesse momento, finalizando a montagem do Sirius, o novo acelerador de elétrons brasileiro; o Laboratório Nacional de Biociências (LNBio) atua na área de biotecnologia com foco na descoberta e desenvolvimento de novos fármacos; o Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) pesquisa soluções biotecnológicas para o desenvolvimento sustentável de biocombustíveis avançados, bioquímicos e biomateriais, empregando a biomassa e a biodiversidade brasileira; e o Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) realiza pesquisas científicas e desenvolvimentos tecnológicos em busca de soluções baseadas em nanotecnologia. Os quatro Laboratórios têm, ainda, projetos próprios de pesquisa e participam da agenda transversal de investigação coordenada pelo CNPEM, que articula instalações e competências científicas em torno de temas estratégicos.

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	04
A IMPORTÂNCIA DA ANTECIPAÇÃO DOS IMPACTOS.....	04
UMA AVALIAÇÃO PERSONALIZADA.....	05
QUAL O MELHOR SISTEMA DE RECOLHIMENTO DE PALHA.....	06
O RECOLHIMENTO DE PALHA AUMENTA A EXPORTAÇÃO DE ELETRICIDADE.....	07
A IMPORTÂNCIA DO PREÇO MÍNIMO DE VENDA DA ELETRICIDADE NA VIABILIZAÇÃO DE PROJETOS DE RECOLHIMENTO DE PALHA.....	09
BIOELETRICIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR GERA EMPREGO E RENDA.....	10
BIOELETRICIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR DIMINUI EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA.....	12
CALCULADORA: O LEGADO DO PROJETO SUCRE EM UMA FERRAMENTA ONLINE GRATUITA.....	13
BIOELETRICIDADE PODE SUBSTITUIR 78% DA DEMANDA RESIDENCIAL DO PAÍS.....	14
PARA ALÉM DA BIOELETRICIDADE E MITIGAÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA.....	16
METODOLOGIA.....	18

## EXPEDIENTE

### DIRETOR-GERAL DO CNPEM

Antonio José Roque da Silva

### DIRETOR DO LNBR

Eduardo do Couto e Silva

### GESTÃO DO PROJETO SUCRE

Manoel Regis Lima Verde Leal | Diretor Nacional  
Thayse Aparecida Dourado Hernandes | Coordenadora

### REALIZAÇÃO E TEXTOS

Alexandre Monteiro Souza  
Antonio Maria Francisco Luiz Jose Bonomi  
Carla Jaqueline Garcia  
Felipe Gianasi  
Isabelle Lobo de Mesquita Sampaio  
Marcos Djun Barbosa Watanabe  
Nariê Rinke Dias de Souza  
Tassia Lopes Junqueira  
Terezinha de Fatima Cardoso  
Thayse Aparecida Dourado Hernandes  
Wilson Cleber da Silva Bononi

### DIAGRAMAÇÃO E FOTOGRAFIA

Viviane Celente

### ILUSTRAÇÕES E ESQUEMAS

Alexandre Monteiro Souza  
Amanda Kokol Coltro  
Carla Jaqueline Garcia  
Felipe Gianasi  
Isabelle Lobo de Mesquita Sampaio  
Luiz Felipe Nascimento dos Reis  
Marcos Djun Barbosa Watanabe  
Nariê Rinke Dias de Souza  
Terezinha de Fatima Cardoso  
Thayse Aparecida Dourado Hernandes  
Wilson Cleber da Silva Bononi



# APRESENTAÇÃO

Considerando a importância da sustentabilidade para definir as melhores formas de recolher palha para a geração de bioeletricidade, o projeto SUCRE conta com a etapa de **integração dos resultados**. Aqui, todo o aprendizado adquirido anteriormente pelas equipes de experimentos no campo e testes na indústria foram utilizados para fornecer informações valiosas ao setor sucroenergético. A Integração ajuda a determinar quais serão os impactos ambientais, econômicos e sociais do aproveitamento da palha de cana-de-açúcar para geração de bioeletricidade.

## A IMPORTÂNCIA DA ANTECIPAÇÃO DOS IMPACTOS

É muito importante para as usinas antecipar os resultados econômicos e ambientais antes de realizar o recolhimento na prática. Isso facilita a tomada de decisões importantes, possibilitando que as usinas direcionem seus recursos a projetos com bom potencial econômico e ambiental. Por exemplo, saber qual o tipo de recolhimento de palha mais apropriado no campo, ou ainda, quais equipamentos utilizar na indústria, podem ser respostas dadas de forma antecipada por cálculos computacionais, a fim de avaliar se a decisão pode ser viável ou não.

### MAS COMO ISSO É REALIZADO?

O Projeto SUCRE utiliza a **Biorrefinaria Virtual de Cana-de-Açúcar (BVC)**, desenvolvida pelo **Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR)**. A BVC utiliza modelos computacionais como principal ferramenta para simular possíveis situações, seja no campo ou na indústria. É como se tudo o que acontece em uma usina, desde a produção da cana, passando pelo processamento industrial até a utilização dos produtos gerados, estivessem em uma grande calculadora. Os cálculos realizados fornecem respostas sobre os potenciais impactos econômicos, ambientais e sociais das etapas existentes no processo produtivo.



**ESCANEE O QR CODE**

ACIMA OU ENTRE NO LINK

[HTTP://BIT.LY/PROJETOSUCREE](http://bit.ly/projetosucree)

PARA LER MAIS SOBRE O

**PROJETO SUCRE**

# UMA AVALIAÇÃO PERSONALIZADA

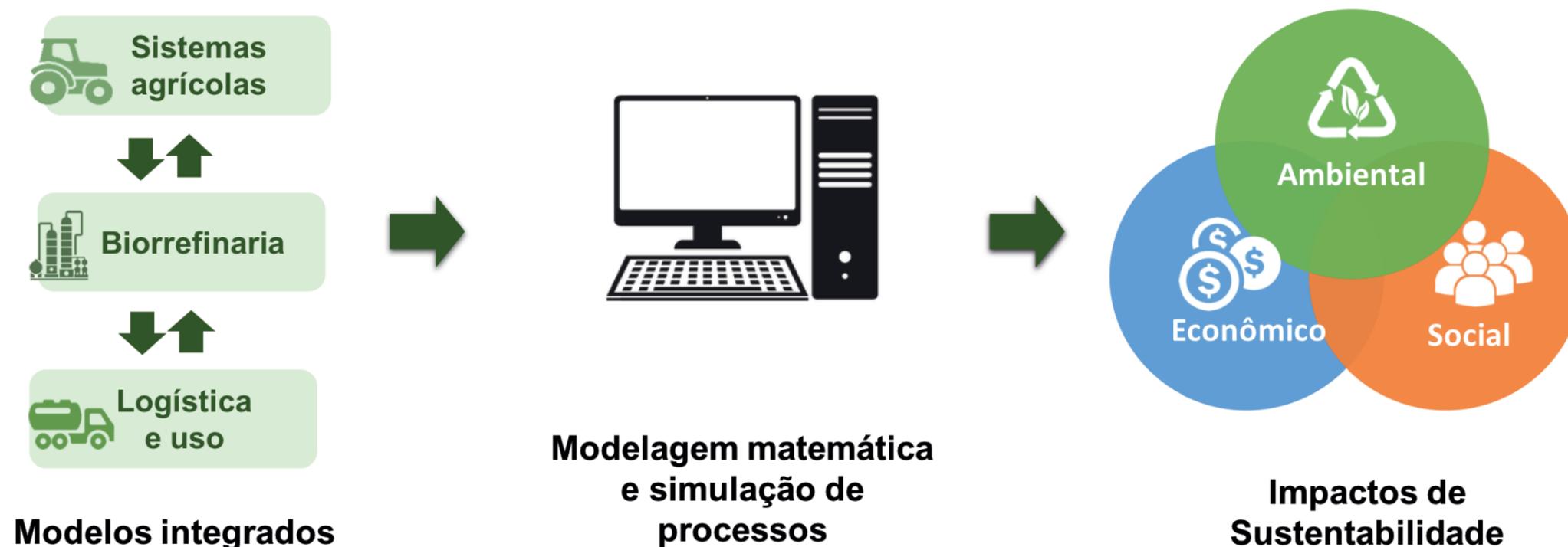
Considerando a grande variedade de usinas participantes no Projeto SUCRE, saber a melhor forma de lidar e aproveitar a palha disponível não foi uma tarefa simples. Existem muitos fatores que interferem no custo e na qualidade da palha recolhida, desde a produtividade da cana até o rendimento operacional do maquinário utilizado. Além disso, na etapa industrial existe uma variedade de fatores relacionados ao impacto da palha nos processos industriais da usina.

Ao longo dos cinco anos de Projeto SUCRE, a Integração avaliou 12 usinas parceiras, buscando fornecer respostas para ajudar a compreender se a geração de eletricidade a partir da palha da cana-de-açúcar poderia gerar resultados satisfatórios em termos de sustentabilidade.

Na primeira etapa, buscou-se mapear as características operacionais das quatro usinas participantes. Assim, foram avaliados detalhes da produção de cana-de-açúcar e recolhimento de palha, ajustando os cálculos para as características de cada usina participante. Da mesma forma, o processamento na indústria também foi detalhado, ajustando as simulações de acordo com as informações recebidas.

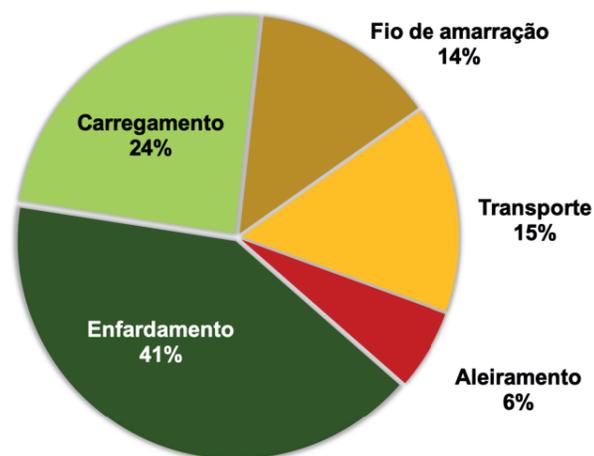
A segunda etapa incorporou os aprendizados da fase anterior do Projeto e, juntamente com oito novas usinas participantes, a equipe da Integração definiu os cenários de interesse para avaliação do recolhimento e aproveitamento da palha. As avaliações foram realizadas utilizando a BVC, ajustada para a realidade de cada usina.

## BIORREFINARIA VIRTUAL DE CANA-DE-AÇÚCAR (BVC)



# QUAL O MELHOR SISTEMA DE RECOLHIMENTO DE PALHA?

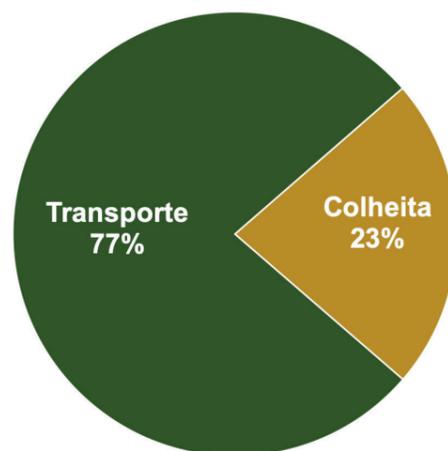
Distribuição média de custos com fardos



Considerando o sistema de recolhimento por fardos, verifica-se que a etapa de enfardamento requer bastante atenção, uma vez que representa, em média, mais de 40% do custo de recolhimento. Outra etapa importante é o carregamento dos fardos, que pode superar 20% do custo.

No sistema com colheita integral, a palha é recolhida e transportada junto com a cana. Assim, apenas

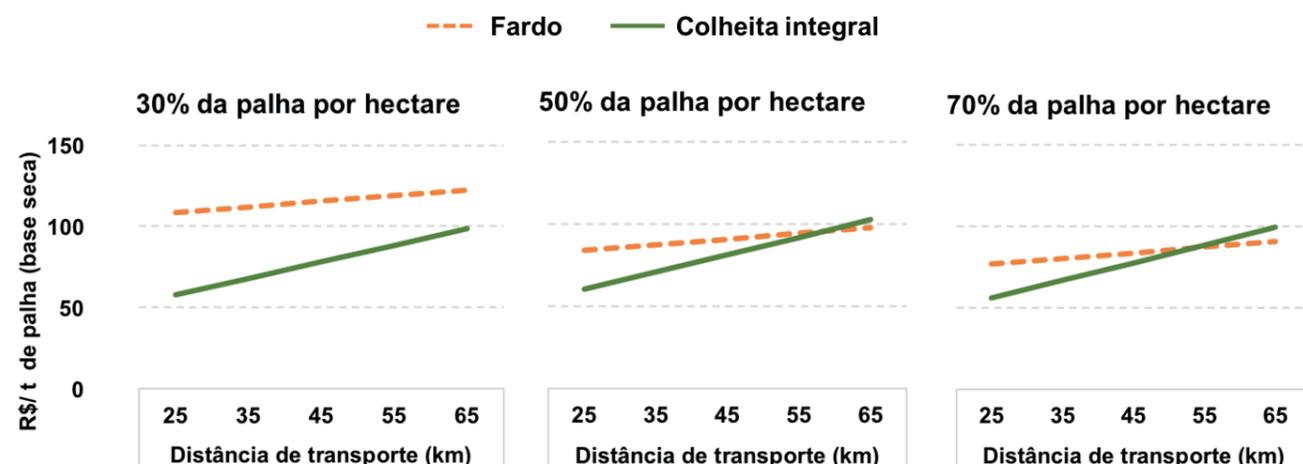
Distribuição média de custos com colheita integral



as etapas de colheita e transporte compõem esse sistema de recolhimento. Nesse sistema, o transporte é a etapa com maior participação no custo da palha, podendo representar até 80%.

Cada sistema de recolhimento de palha apresenta vantagens e desvantagens. Assim, **condições específicas devem ser consideradas** na escolha do sistema de recolhimento mais apropriado.

## CUSTOS DE RECOLHIMENTO DE PALHA VARIANDO A QUANTIDADE DE PALHA RECOLHIDA POR HECTARE E A DISTÂNCIA DE TRANSPORTE



# O RECOLHIMENTO DE PALHA AUMENTA A EXPORTAÇÃO DE ELETRICIDADE

Com as simulações industriais é possível calcular o aumento da geração de eletricidade de usinas que optem por recolher palha. **Vários fatores influenciam no aumento na cogeração**, com destaque para os equipamentos e suas condições de operações. Para uma maior cogeração é necessário ter turbinas de condensação e caldeiras com temperatura e pressão mais elevadas. **Vale ressaltar que se a usina utiliza vapor produzido para outras aplicações, como moendas à vapor, a geração de eletricidade diminui.** Assim como na etapa agrícola, na etapa industrial é possível avaliar os sistemas de recolhimento por fardos e com colheita integral. O sistema de recolhimento escolhido resulta em diferenças significativas na simulação. Cada sistema requer equipamentos específicos e o percurso da palha dentro da usina também varia. Por fardos, a palha recuperada é processada e enviada diretamente para a cogeração, não causando impacto nos processos de produção de açúcar e etanol. Já com o sistema de colheita integral, parte da palha entra na moenda junto com a cana-de-açúcar, podendo causar perdas na extração, consequentemente na produção de açúcar e etanol.

## CALCULANDO O AUMENTO DA EXPORTAÇÃO DE ELETRICIDADE

É possível simular o aumento da exportação de eletricidade ao recolher palha. Considerando uma usina genérica que processa 4 milhões de toneladas por ano, o recolhimento de 9% da palha produzida no campo pode aumentar em 22% sua exportação de eletricidade. Aumentando o recolhimento para 27% e operando durante a entressafra, a eletricidade exportada pode aumentar 57%. Esses resultados não consideram investimentos em novos equipamentos e admitem uma ociosidade de 10% na caldeira. As operações do processamento da palha e de operação na entressafra demandam eletricidade. Foi adotado um consumo energético de 25 kW por tonelada de palha processada, e 8% da eletricidade gerada para operar na entressafra, considerando uma turbina de extração-condensação operando na sua máxima capacidade de condensação. Vale ressaltar que mesmo considerando esses consumos adicionais, a eletricidade exportada ainda é significativamente maior quando se recolhe palha.

Com o adicional de **57%** seria possível abastecer **84.600** residências

Recolhimento de palha*	Operação	Exportação de eletricidade	
-	Somente safra	283,3 GWh	
9%	Somente safra	345,4 GWh	+ 22%
27%	Safra + entressafra	443,7 GWh	+ 57%

*\*Total de palha produzida no campo*

Processamento: 4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar  
Caldeira: 65 bar  
Sistema de recolhimento: fardos



### CALCULANDO A SUBSTITUIÇÃO DE BAGAÇO POR PALHA

Também é possível simular a quantidade necessária de recolhimento de palha para substituir a compra de bagaço de uma usina, de forma a manter (ou aumentar) a exportação de eletricidade. Considerando uma usina com contrato de exportação de eletricidade anual de 87.600 MWh, que compra 59.351 toneladas de bagaço (base seca) para supri-lo e já recolhe 32.700 toneladas de palha (base seca), seria necessário recolher mais 86.691 toneladas de palha (base seca) por ano por fardos, ou 99.322 toneladas (base seca) por ano por sistema de colheita integral para substituir todo o bagaço comprado e manter a exportação em 87.600 MWh.



### SUBSTITUIÇÃO DE BAGAÇO POR PALHA

Caso base



32.700 ton



59.351 ton

Bagaço comprado

Recolhimento por fardos para substituir bagaço



86.691 ton

Recolhimento por colheita integral para substituir bagaço



99.322 ton

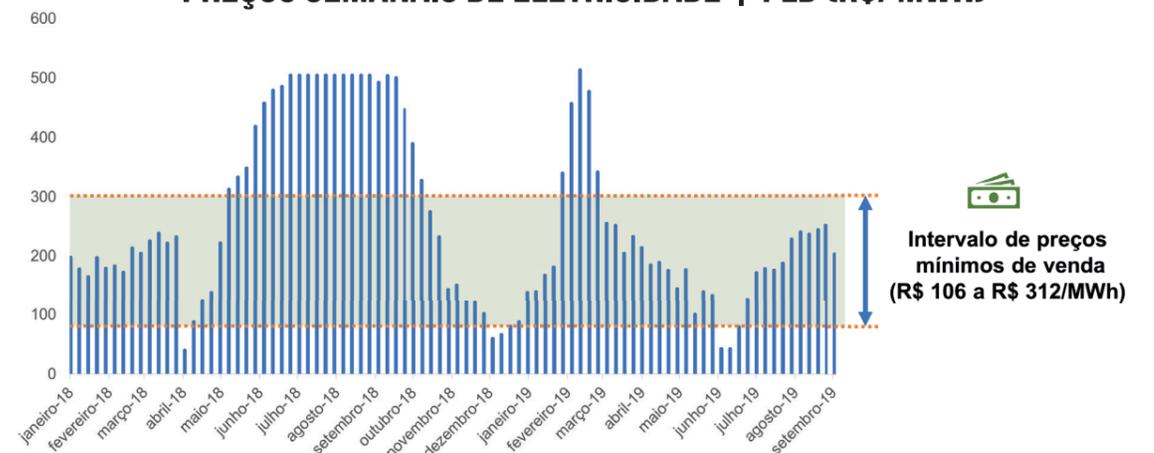
# A IMPORTÂNCIA DO PREÇO MÍNIMO DE VENDA DA ELETRICIDADE

*na viabilização de projetos de recolhimento de palha*

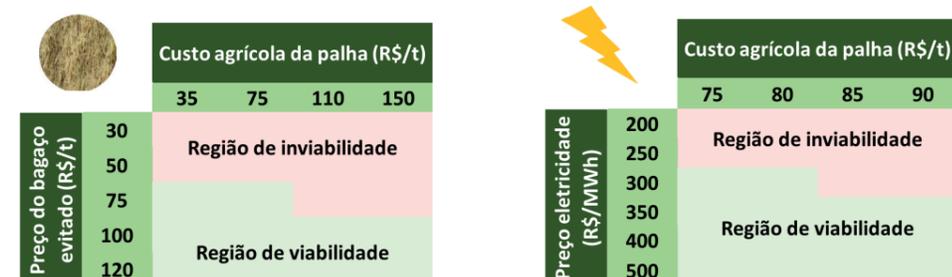
Na análise de viabilidade econômica não existe uma resposta única para cada avaliação. Ou seja, o recolhimento de palha pode ser viável ou não para casos reais, que estão sujeitos a incertezas. Nesse caso, é realizada uma etapa chamada “análise de sensibilidade”, que determina em quais regiões de preços e custos existe viabilidade econômica. Para cada usina, diferentes regiões de viabilidade e inviabilidade são obtidas, já que os dados obtidos nos cálculos dependem das particularidades descritas anteriormente. Na ilustração abaixo, é mostrado um exemplo de viabilidade quando se substitui bagaço comprado por palha. Quanto mais caro o bagaço substituído e quanto menor o custo agrícola da palha, maiores as chances de viabilidade. Outro exemplo mostra que um efeito semelhante acontece quando o preço da eletricidade comercializada é maior e quando o custo de recolhimento da palha pela usina é menor.

Entre as análises de sensibilidade feitas com usinas parceiras do projeto, um indicador importante é o preço mínimo pelo qual a eletricidade precisaria ser vendida para que o projeto de bioeletricidade de palha consiga rentabilizar o investimento realizado. Nas análises, o preço mínimo variou entre R\$ 106/MWh (melhor caso) até R\$ 312/MWh (pior caso). Como pode ser observado no gráfico abaixo, caso o projeto vise os preços no mercado spot, existem chances de obtenção de preços atrativos, no entanto, sujeitos a muitas flutuações de preços. Uma alternativa nesse caso pode ser o mercado livre de energia (ACL), onde contratos podem dar previsibilidade de preços no curto e médio prazos, derivando os benefícios para fontes de eletricidade incentivada. Para longos prazos de previsibilidade de preços de eletricidade, contratos em leilões (ACR) são os mais indicados; no entanto, a média histórica de preços para esse tipo de contrato tem estado em patamares próximos a **R\$ 200/MWh**.

### PREÇOS SEMANAIS DE ELETRICIDADE | PLD (R\$/MWh)



### CUSTOS DE PALHA, PREÇOS DE ELETRICIDADE E BAGAÇO ESPECÍFICOS DE UM CASO AVALIADO



# BIOELETRICIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR GERA EMPREGO E RENDA

O aumento da geração de eletricidade através do recolhimento da palha que fica no campo também deve ser analisado em relação aos seus efeitos sociais. Para produzir mais eletricidade utilizando a palha da cana-de-açúcar são necessários mais trabalhadores para o recolhimento da palha no campo, para movimentá-la e prepará-la para ser utilizada na usina.

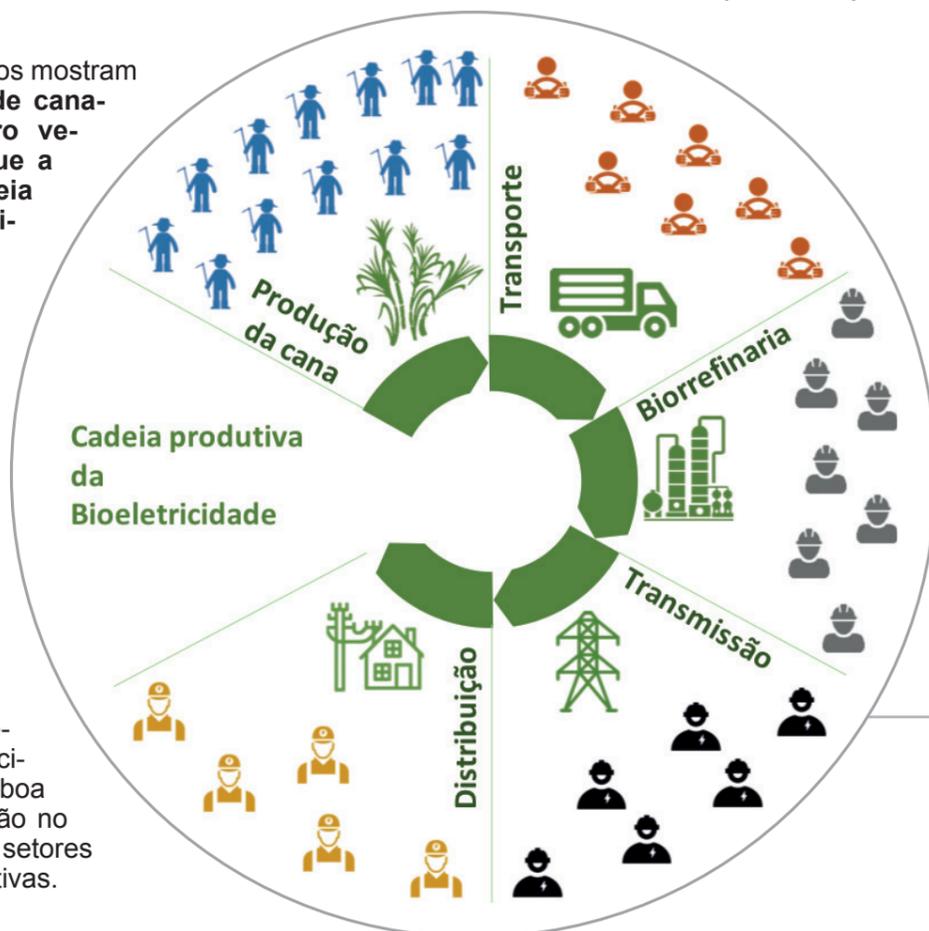
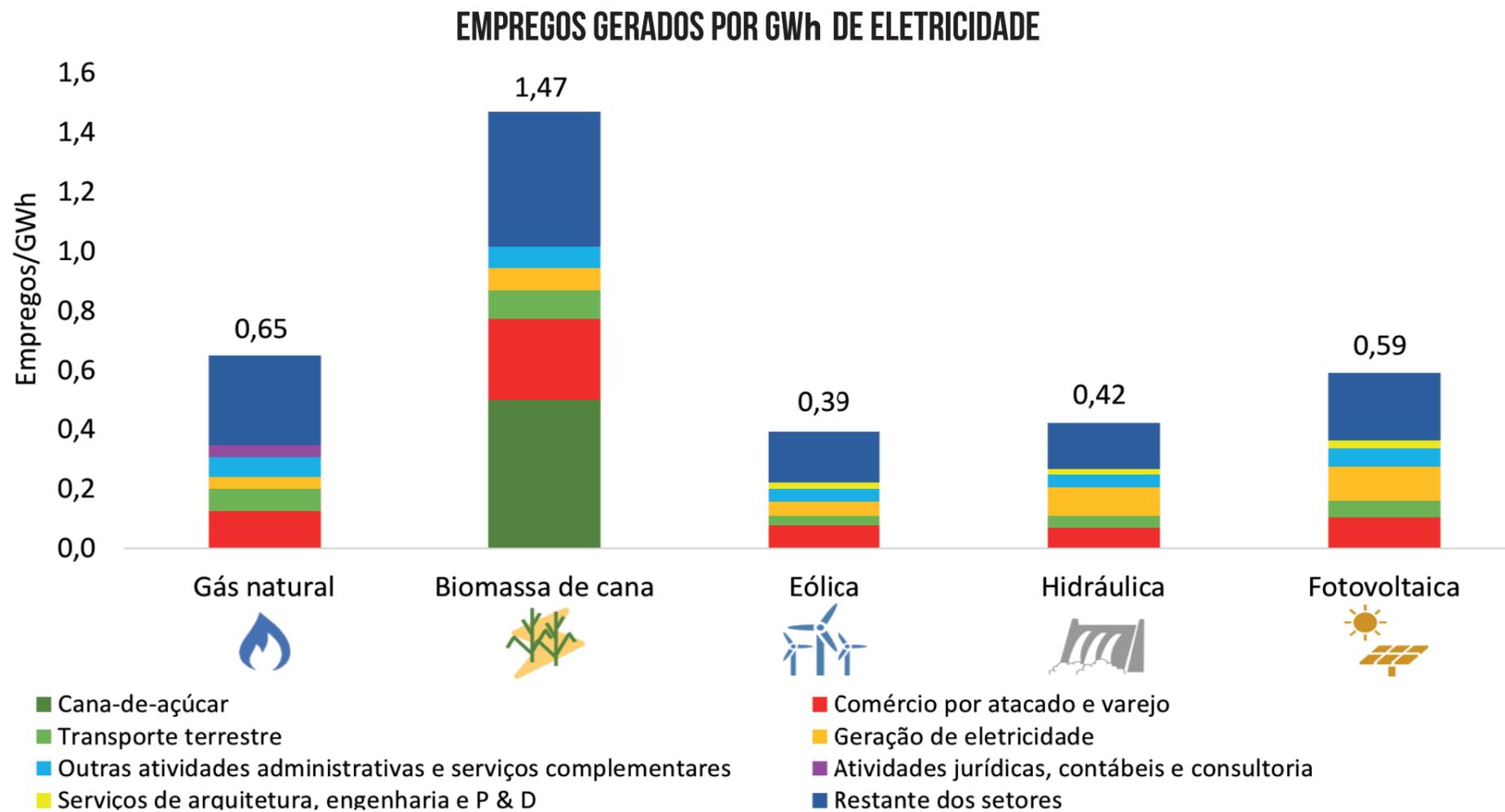
Os resultados dos efeitos sociais do Projeto SUCRE levam em consideração **toda a cadeia produtiva**.

Para a geração de 1 GWh de bioeletricidade a partir da biomassa da cana-de-açúcar são gerados 1,47 empregos.

Para melhor entendimento, podemos comparar a geração de empregos por GWh de outras fontes renováveis, como a eólica, a fotovoltaica e a hidráulica, e da eletricidade de gás natural, a principal fonte fóssil a ser substituída pela biomassa da cana.

Até o momento, resultados mostram que a **bioeletricidade de cana-de-açúcar gera quatro vezes mais empregos que a eólica, trez vezes e meia a mais que a hidráulica, duas vezes e meia mais que a fotovoltaica e duas vezes mais que a de gás natural**. A geração de eletricidade gera empregos em diversos setores da economia. A maior parte dos empregos da bioeletricidade está no cultivo da cana-de-açúcar e em seu transporte até a usina.

Na geração fotovoltaica, a maioria dos empregos estão na geração da eletricidade. Para as eletricidades de outras fontes, boa parte dos empregos estão no setor de comércio e em setores de atividades administrativas.



Valores para diversas fontes calculados utilizando a Análise de Insumo-Produto, com valores médios de 2015. Para a biomassa da cana, foi considerada uma tecnologia otimizada de geração de eletricidade, com uma exportação de 100 kWh/ tonelada de cana. Os empregos consideram somente a fase de operação e manutenção na geração das diferentes eletricidades.

## AVALIAÇÃO SOCIAL DO CICLO DE VIDA

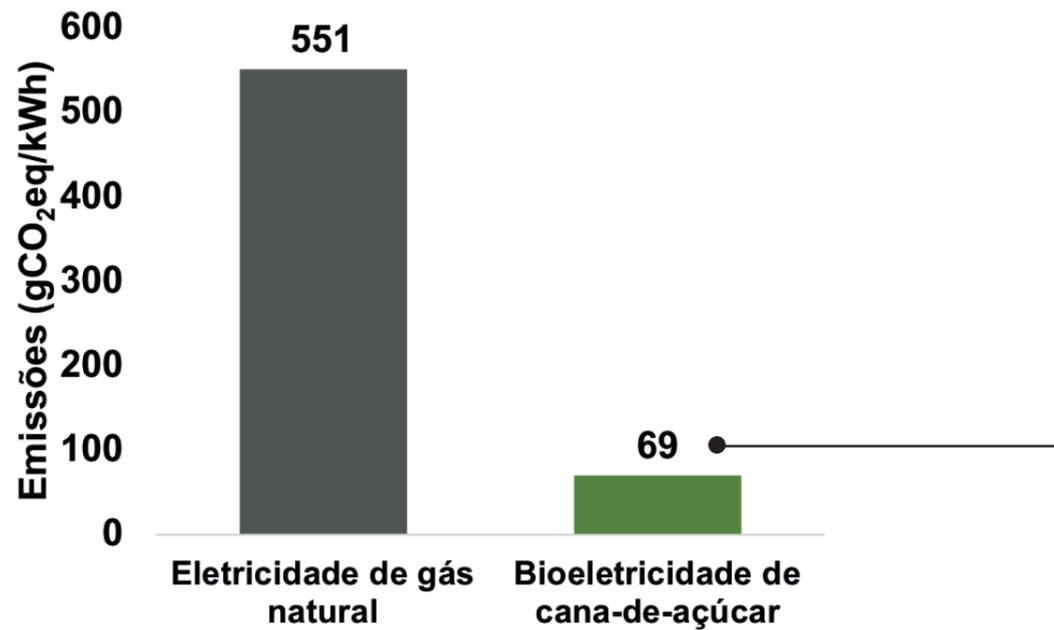
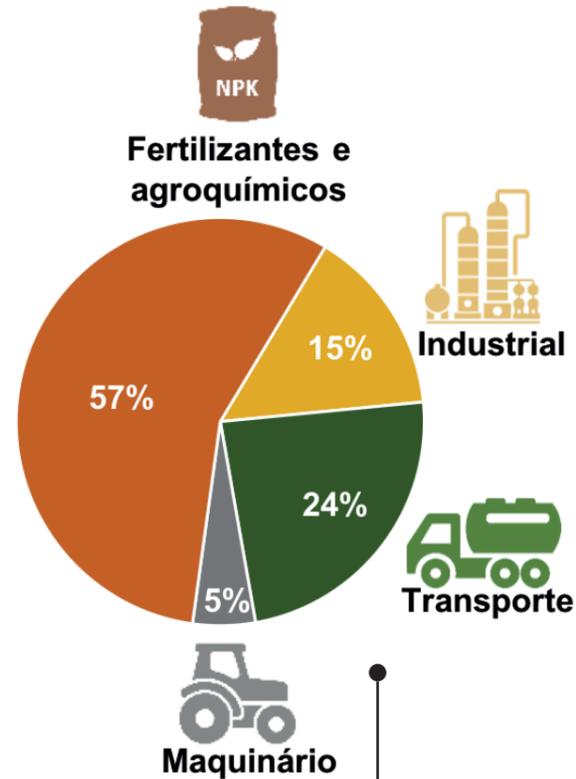
A avaliação social também analisa os seguintes temas: acidentes de trabalho, salário médio dos trabalhadores, escolaridade dos trabalhadores e porcentagem de homens e mulheres.



# BIOELETRICIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR DIMINUI EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA

As emissões de gases do efeito estufa, que causam o aquecimento global e as mudanças climáticas, são a principal resposta da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Na ACV consideramos os **impactos de toda a cadeia de produção** – são contabilizados os insumos, combustíveis e máquinas utilizados nas etapas de produção da cana, transporte, e geração de eletricidade na usina.

A geração de 1 kWh de eletricidade de cana-de-açúcar emite aproximadamente 69 gramas de CO<sub>2</sub> equivalente para a atmosfera. Muito menos que a eletricidade de gás natural, que emite aproximadamente 551 gramas de CO<sub>2</sub> equivalente por kWh.



# CALCULADORA: O LEGADO DO PROJETO SUCRE EM UMA FERRAMENTA ONLINE GRATUITA

Pensando no legado do SUCRE e em uma forma de compartilhar conhecimentos gerados durante o Projeto, a calculadora SUCRE foi desenvolvida. Denominada PalhaCalc, trata-se de uma ferramenta

online de fácil acesso e operação, que permite gerar resultados preliminares sobre o potencial técnico, econômico e ambiental relacionado ao recolhimento e uso da palha para a geração de bioeletricidade.



# BIOELETRICIDADE PODE SUBSTITUIR 78% DA DEMANDA RESIDENCIAL DO PAÍS

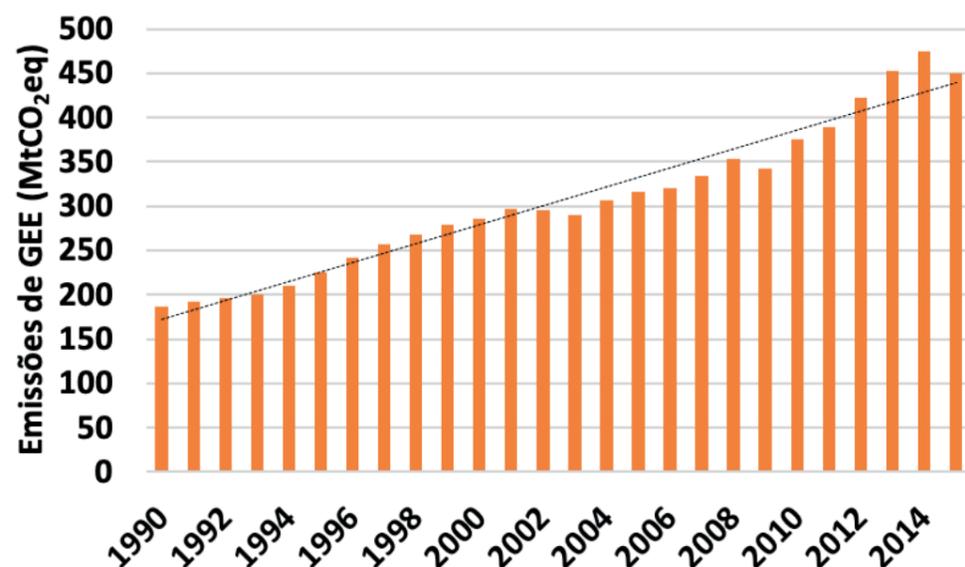
No Projeto SUCRE, além de calcularmos as emissões de gases do efeito estufa (GEE) das usinas parceiras, também avaliamos o potencial de mitigação de GEE da bioeletricidade de cana-de-açúcar no Brasil quando comparada a eletricidade de gás natural, e o potencial de atendimento da demanda residencial de eletricidade do país.

Em 2018, aproximadamente 620 milhões de toneladas de cana foram colhidas e 21,5 TWh de bioeletricidade foram exportados para a rede, o que representa aproximadamente 16% do consumo residencial de eletricidade. Se 50% da palha de toda essa cana colhida fosse recolhida, mais 42,3 TWh poderiam ser exportados, totalizando 63,8 TWh, o que poderia suprir 47,5% da demanda residencial de eletricidade. Considerando a adição de um sistema de cogeração otimizado e mais 50% de recolhimento de palha, o potencial de bioeletricidade de cana-de-açúcar poderia

chegar a 104,3 TWh, ou 77,7% da demanda residencial de eletricidade.

## POTENCIAL DE MITIGAÇÃO DE GEE

Avaliar o potencial de mitigação de GEE da bioeletricidade de cana-de-açúcar é extremamente importante para o Brasil, devido ao contexto global de mitigação das emissões de GEE e dos **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Além disso, as **emissões do setor energético brasileiro aumentaram 42% de 2005 a 2015**, como mostra o gráfico abaixo.

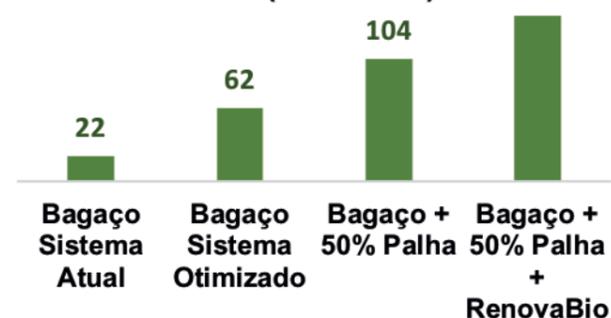


## CENÁRIOS DE EXPANSÃO DE GERAÇÃO DE BIOELETRICIDADE DE CANA

	Bagaço Sistema Atual	Bagaço Sistema Otimizado	Bagaço + 50% Palha	Bagaço + 50% palha + RenovaBio
Cogeração Otimizada		X	X	X
Recolhimento de palha			X	X
Expansão de área				X

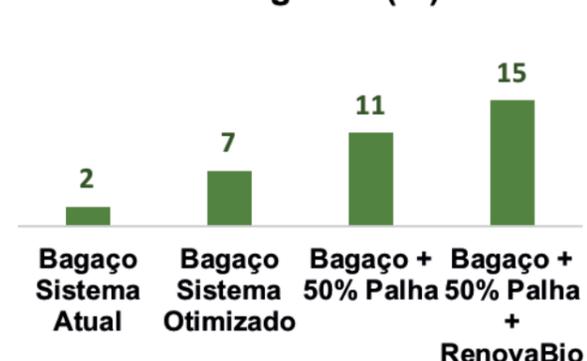
O cenário Bagaço + 50% palha + RenovaBio considera uma expansão de área de cana-de-açúcar de 3 milhões de hectare para suprir a demanda de 50 bilhões de litros de etanol, de acordo com expectativas do RenovaBio.

## Eletricidade Excedente SIN (TWh/ano)



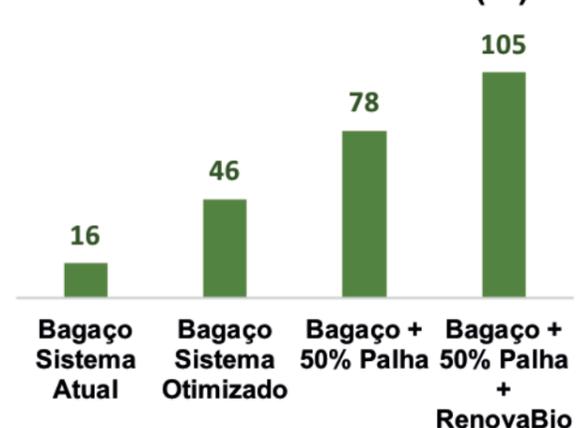
O Brasil tem um enorme potencial de produção de bioeletricidade de cana-de-açúcar. Somente otimizando o sistema já existente, o setor sucroenergético poderia exportar 62 TWh de bioeletricidade por ano!

## Mitigação GEE Setor Energético (%)



As emissões evitadas ao substituir eletricidade de gás natural com bioeletricidade de cana poderiam mitigar parte das emissões do setor energético brasileiro, chegando a 15% no cenário Bagaço + 50% Palha + RenovaBio.

## Demanda residencial (%)



Ao recolher 50% da palha dos canaviais já existentes, juntamente com uma otimização do sistema de cogeração, a bioeletricidade de cana poderia suprir 78% da demanda residencial de eletricidade do Brasil.

# PARA ALÉM DA BIOELETRICIDADE E MITIGAÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA

O foco de atuação do Projeto SUCRE nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas estão diretamente relacionados com **Energia Acessível e Limpa (7) e Ação Contra a Mudança Global do Clima (13)**, visto que o SUCRE visa aumentar a produção de eletricidade com baixa emissão de gases de efeito estufa, através do uso da palha em complemento ao bagaço nas caldeiras atuais. Entretanto, os resultados do Projeto vão muito além da energia e

das mudanças do clima e tocam de forma indireta vários outros ODS.

## COMBATE AO DESMATAMENTO

Um trabalho feito pela equipe mostrou que 96% da expansão mais recente da cana (mais de 4 milhões de hectares) ocorreu dentro Zoneamento Agroeco-

lógico da cana (ZAE), o que significa que a cana expandiu sobre outras culturas e áreas de pastagem e não contribuiu diretamente para o desmatamento. Outro estudo mostrou que, mesmo sendo ambientalmente muito conservador, ainda existem mais de 20 milhões de hectares disponíveis para expansão da cana dentro do ZAE, considerando apenas os seis estados que mais produzem cana no Centro-Sul do Brasil (São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Paraná).

## DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

Trabalhos publicados em revistas internacionais também mostraram que a expansão da cana sobre pastagem e culturas anuais favorecem a disponibi-

lidade de água em bacias hidrográficas na época de estiagem.

## IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS POSITIVOS

A equipe do Projeto também está trabalhando no tratamento de impactos socioeconômicos derivados da eletricidade baseada em biomassa em comparação ao gás natural. Resultados preliminares mostraram que, para cada 1 TWh de eletricidade gerada usando biomassa de cana-de-açúcar, é possível criar 817 empregos a mais do que se essa quantidade de eletricidade fosse gerada usando gás natural. Estudos na diversificação da escolaridade, renda e participação por gênero também estão sendo conduzidos no âmbito do SUCRE.

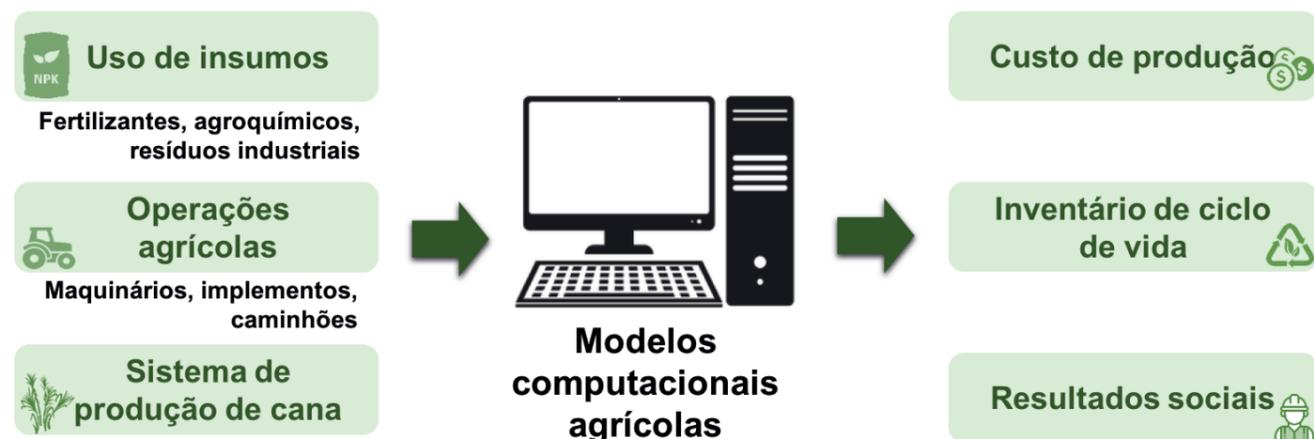


# METODOLOGIA

## AVALIAÇÃO AGRÍCOLA

Para avaliar o custo do recolhimento de palha, a BVC utiliza o CanaSoft, desenvolvido pela equipe do LNBR/CNPEM. Trata-se de um modelo computacional que engloba todas as operações agrícolas da produção de cana-de-açúcar, desde a sistematização da área, preparo do solo, incluindo o transporte dos colmos e as operações de recolhimento de palha, considerando mão de obra, maquinário e implementos necessários, bem como os insumos utilizados. O modelo agrícola CanaSoft permite

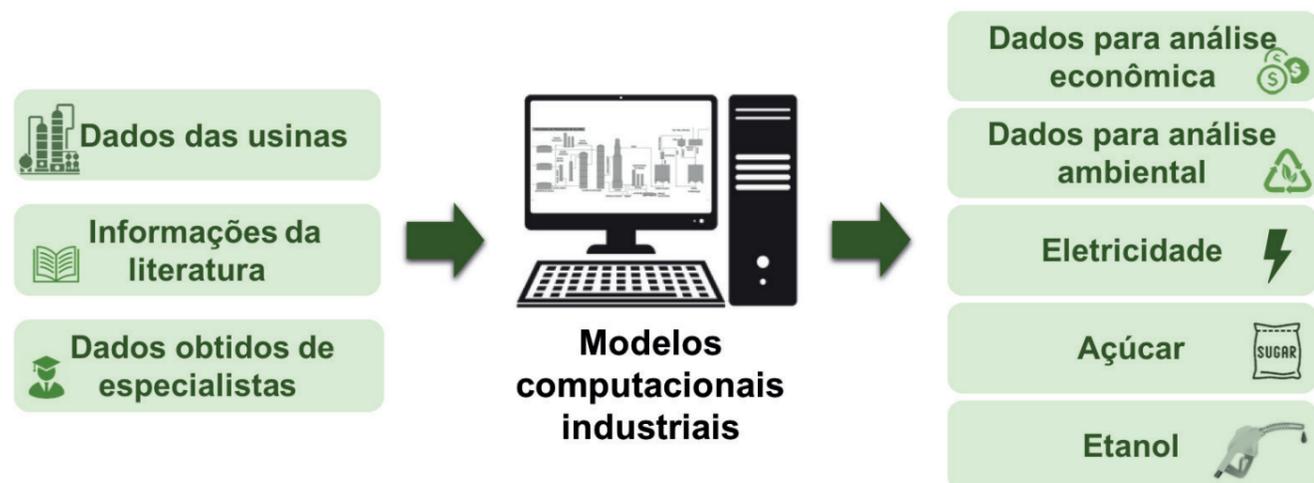
avaliar tecnologias em uso e em desenvolvimento, possibilitando identificar os pontos críticos e os gargalos tecnológicos do processo. Assim, com o uso do CanaSoft verificamos os pontos que devem merecer atenção especial nas operações agrícolas, de acordo com as características de cada usina avaliada, visando melhores resultados técnicos, econômicos e ambientais do aproveitamento de palha. Para determinar o custo da palha, o CanaSoft considera a diferença de custo entre o cenário com recolhimento e um cenário sem recolhimento.



## AVALIAÇÃO INDUSTRIAL

Para avaliar o potencial de geração de eletricidade das usinas é necessário construir simulações computacionais que representem as operações de processamento e queima da palha. Através da queima da palha nas caldeiras é possível aumentar o excedente de eletricidade gerada das usinas.

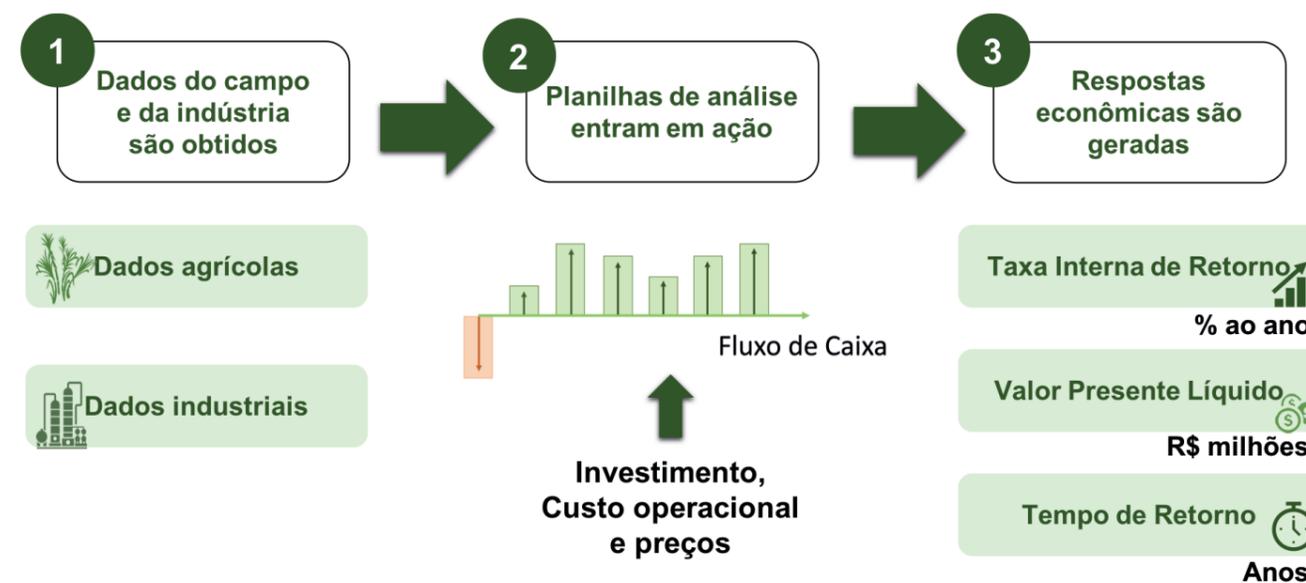
Usando dados de operação e de equipamentos das usinas participantes do Projeto, informações do setor e da literatura, e levando em conta fatores como quantidade de palha recolhida e umidade, a simulação industrial tem como objetivo gerar resultados que serão entradas para as análises ambientais e econômicas.



## AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Após realizar as simulações agrícolas e industriais, o passo seguinte é avaliar se a geração de bioeletricidade a partir de palha será viável economicamente para as usinas parceiras. Essa análise é dividida em três etapas. A primeira consiste em utilizar as informações da usina entregues previamente às equipes de simulação agrícola e industrial. Nessa etapa, uma informação essencial é o

preço de comercialização da eletricidade, pois todos os recebimentos futuros dependerão desse valor. O segundo passo é realizar a análise de fluxo de caixa, onde são contabilizados o investimento em equipamentos e infraestrutura, além de outros custos com mão-de-obra, insumos industriais e manutenção, por exemplo. Na terceira e última etapa, são mostradas as respostas que dirão se a decisão foi acertada em termos econômicos.



## AVALIAÇÃO SOCIAL

No Projeto SUCRE, os efeitos sociais da produção da bioeletricidade de cana-de-açúcar são calculados utilizando a metodologia da Avaliação Social de Ciclo de Vida (ACV-S). A ACV-S avalia os efeitos sociais, positivos e negativos, de todas as etapas da cadeia produtiva. Dessa forma, são contabilizados os trabalhadores de toda a cadeia de produção e não somente da usina, por exemplo. São consideradas as pessoas envolvidas na produção da cana-de-açúcar, na produção de todos os insumos e serviços utilizados, bem como os trabalhadores envolvidos no transporte e no comércio de todos os bens e serviços da cadeia produtiva.

## AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Para calcular os impactos ambientais da produção da bioeletricidade de cana-de-açúcar, utilizamos a metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Esse método considera os impactos de toda a cadeia de produção, ou seja, são contabilizados os insumos, combustíveis e máquinas utilizados nas etapas de produção da cana, transporte, e geração de eletricidade na usina.



**CNPEM**  
Centro Nacional de Pesquisa  
em Energia e Materiais

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

## AVISO LEGAL

Apesar das informações neste arquivo derivarem de fontes confiáveis e os autores, revisores e editores deste material terem tomado medidas abrangentes para garantir a compilação e processamento destas informações em padrões comumente aceitos, o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais – CNPEM, seus representantes, funcionários, diretores, agentes, fornecedores ou terceiros mencionados neste arquivo não fazem qualquer declaração ou dão qualquer tipo de garantia, expressa ou implícita, sobre a veracidade, exatidão, adequação ou conformidade da informação para uma finalidade específica (comercial ou não) ou ausência de infração de propriedade intelectual ou direito autoral. Em nenhuma hipótese o CNPEM, seus representantes, funcionários, diretores, agentes, fornecedores ou terceiros serão responsáveis por danos diretos, indiretos, incidentais, punitivos, especiais ou consequenciais de qualquer natureza (incluindo, sem limitação, danos materiais e morais decorrentes do uso, incapacidade de uso ou resultados do uso) sejam eles baseados em garantia, contrato, responsabilidade civil ou qualquer outra teoria legal ou equitativa. O conteúdo desta publicação é protegido por leis de direitos autorais, tratados internacionais ou outros tratados e leis de propriedade intelectual. Exceto se expressamente disposto de forma contrária, os dados gerados pelo CNPEM no bojo do Projeto SUCRE podem ser reproduzidos desde que seja citado a autoria como sendo do Projeto SUCRE/LNBR/CNPEM e mantendo fidelidade ao conteúdo oficial dos documentos publicados.