RSB
Trusted Solutions
for a New World
www.rsb.org

em colaboração com:
AGROICONE
conhecimento para uma nova economia




# DISPONIBILIDADE DE MATÉRIA-PRIMA PARA COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO NO BRASIL

## DESAFIOS E OPORTUNIDADES

RELATÓRIO 2021

DESIGN SEPIA

# VISÃO GERAL

A indústria de aviação pode desempenhar um papel de liderança no combate à ameaça das mudanças climáticas. Os Combustíveis Sustentáveis de Aviação (SAFs, na sigla em inglês) podem estimular o crescimento econômico, desenvolver meios de subsistência rurais e proteger e melhorar os ecossistemas. No entanto, a disponibilidade e localização das matérias-primas necessárias para a produção de SAF no Brasil ainda não são bem compreendidas.

Neste estudo, a *Roundtable on Sustainable Biomaterials* (RSB, na sigla em inglês) trabalhou com a Agroicone para mapear a disponibilidade e o potencial de resíduos de base biológica para a produção de SAFs no Brasil. Os resultados aqui apresentados pretendem respaldar os processos de tomada de decisão, seja na indústria ou na esfera política, para a concretização de estratégias sustentáveis no setor da aviação.

Ao fornecer orientação sobre a sustentabilidade dos combustíveis alternativos, reunindo os públicos de interesse relevantes e integrando a bioeconomia como uma parte essencial da transição energética justa, o projeto *Fueling the Sustainable Bioeconomy* ajudará a direcionar investimentos, políticas públicas, desenvolvimento de mercado e pesquisas adicionais para apoiar o estabelecimento de uma bioeconomia verdadeiramente sustentável.

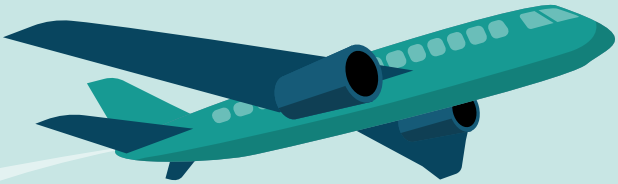
À medida que o projeto avança, outros resultados serão publicados, incluindo informações sobre as emissões de GEE e avaliações técnico-econômicas de diferentes vias de produção de SAF.

Para obter informações adicionais sobre o projeto FTSB e o trabalho da RSB para apoiar o setor de aviação, visite www.rsb.org e explore nossas páginas de aviação.

Este estudo foi desenvolvido como parte do projeto *Fueling the Sustainable Bioeconomy (FTSB)*, financiado pela Boeing e liderado pela RSB.

# SAF: UM CAMINHO FUTURO PARA O SETOR DE AVIAÇÃO

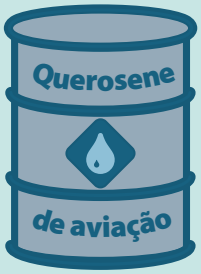
- O setor de aviação tem metas ambiciosas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). A substituição de combustíveis fósseis por SAF de baixo carbono é considerada a forma mais eficiente de atingir esses objetivos.






**META DA INDÚSTRIA 2050**

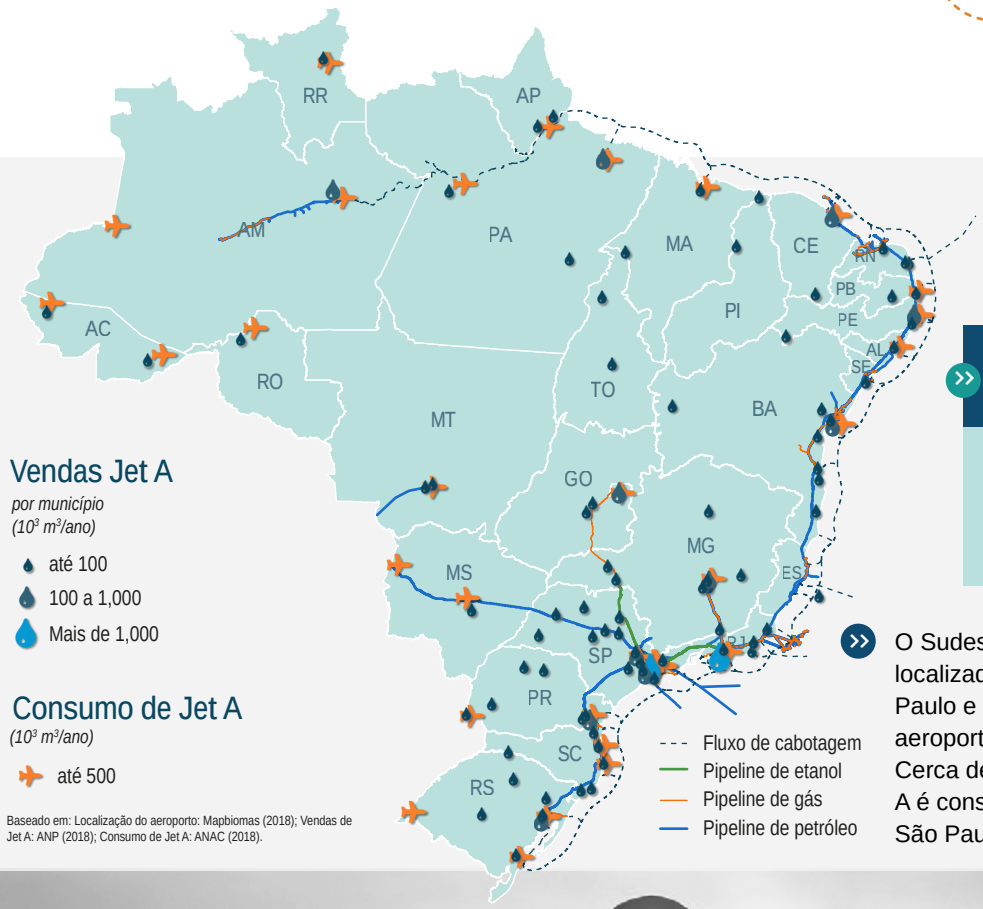
- De uma produção global de **390 bilhões de litros** de querosene para aviação, apenas14 milhões de litros são SAF.




**REALIDADE ATUAL**

# COMBUSTÍVEL JET A NO BRASIL

O Brasil é um país extremamente grande, com uma extensão territorial de 8,5 milhões de km².




Baseado em: Localização do aeroporto: Mapbiomas (2018); Vendas de Jet A: ANP (2018); Consumo de Jet A: ANAC (2018).

**123.5 mil barris por dia**

foi o consumo médio de querosene de aviação no Brasil em 2018.

O Sudeste do país, onde estão localizadas as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, tem os aeroportos mais movimentados. Cerca de 58% do combustível Jet A é consumido nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

## Avaliação da Produção de SAF no Brasil

A indústria de SAF enfrenta desafios econômicos e ambientais, incluindo viabilidade econômica quando comparada aos combustíveis fósseis e os impactos das mudanças no uso da terra, que podem resultar em emissões significativas de GEE. O SAF obtido a partir de resíduos pode contornar tais desafios, uma vez que seu custo e impactos ambientais no ponto de coleta podem ser próximos a zero.

Este relatório apresenta a disponibilidade de resíduos e localizações estratégicas para a produção e consumo de SAF no Brasil.

**Cinco matérias-primas residuais foram combinadas em sete vias diferentes** para a produção de SAF, conforme apresentado a seguir. Todas as vias compreendem combustíveis *drop-in* aprovados pela ASTM para serem usados com querosene fóssil (Jet A) em uma mistura máxima de 50% (v / v).

# MATÉRIAS-PRIMAS E VIAS DE PRODUÇÃO

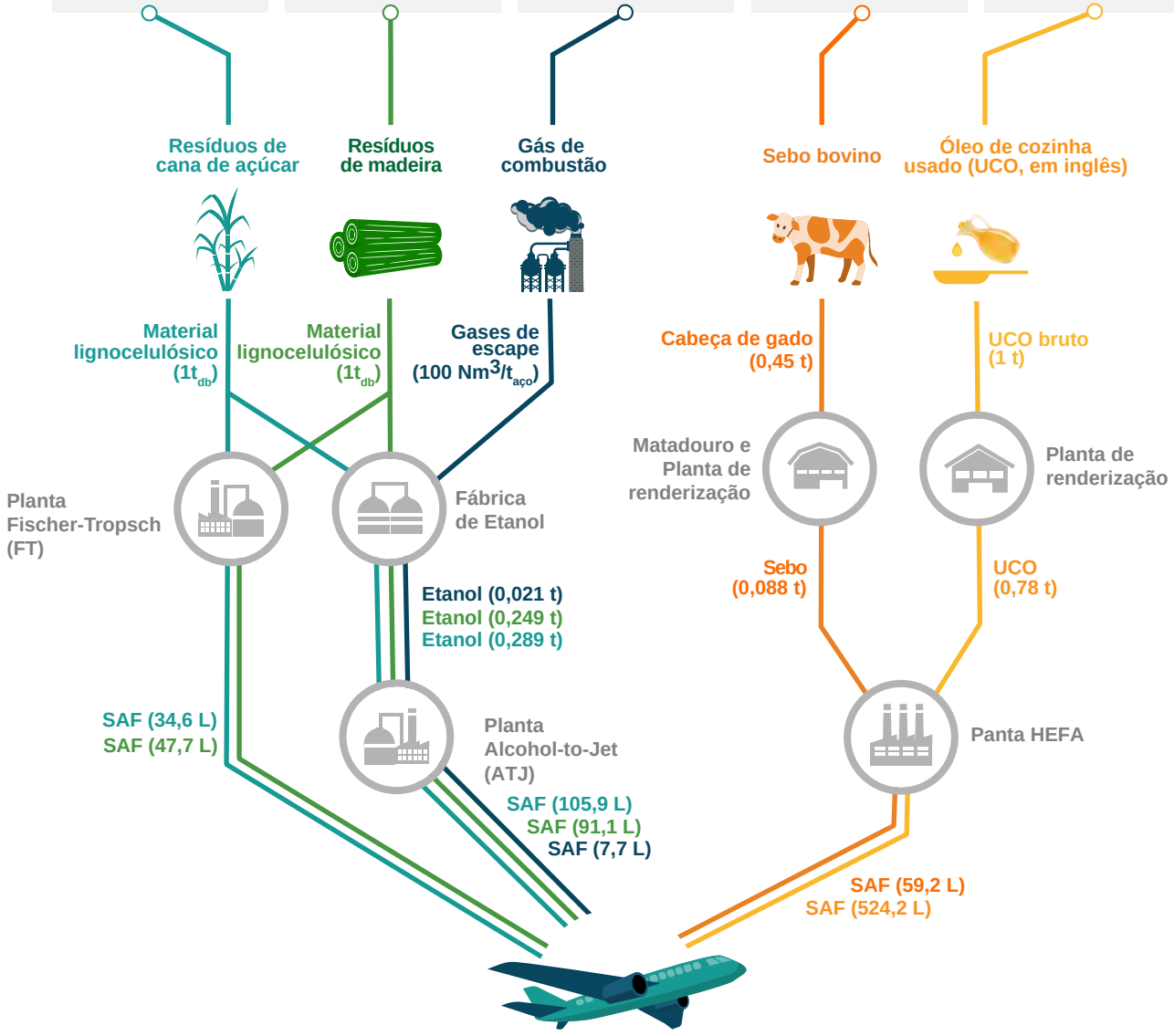
*Bagaço de cana de açúcar é gerado durante a moagem da cana de açúcar, enquanto a palha da cana de açúcar seria recuperada do campo e uma quantidade mínima deve permanecer no solo para fins ambientais.*

*Resíduos de madeira são gerados durante as operações de colheita do eucalipto. De acordo com relatórios recentes da indústria madeireira brasileira, esses resíduos são deixados no campo.*

*Gases de combustão liberados do processo de refino do aço são adequados para a produção de etanol por meio de uma nova tecnologia de fermentação que já atingiu escala comercial.*

*Sebo bovino é obtido a partir do processo de beneficiamento dos resíduos gerados na limpeza da carcaça, como ossos, vísceras e gorduras.*

*UCO compreende o óleo residual dos processos de fritura em residências ou serviços de alimentação.*




## Metodologia

Cada via foi avaliada i) mapeando a disponibilidade da matéria-prima; ii) identificando locais-chave (ou seja, indústrias de conversão, refinarias de petróleo, aeroportos, gasodutos e portos); iii) combinando o fornecimento de matéria-prima com as indústrias de processamento; e iv) estimando a produção potencial de SAF.
Bases de dados oficiais foram utilizadas para identificar a localização e o potencial de cada matéria-prima. As taxas de produção para matérias-primas residuais e rendimentos gerais das plantas de processamento foram coletadas de relatórios oficiais, dados de modelagem e literatura. Quando necessário, a validação dos dados foi realizada com especialistas.

Nota: i) db: base seca; ii) densidade assumida para SAF: 0,735 t / m³

# PLANTAS INDUSTRIAIS



## PLANTA FT

Na via FT, o material é coletado e enviado para a planta industrial, onde é gaseificado para o gás de síntese. Após o processo de limpeza, o gás de síntese segue para o reator Fischer-Tropsch, onde é convertido por catálise em hidrocarbonetos líquidos, que são fracionados em SAF e combustíveis líquidos.

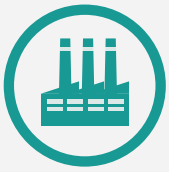
O excedente de energia pode ser obtido como um coproduto do processo. As plantas FT são, em geral, autossuficientes e não dependem de grande quantidade de insumos como hidrogênio, sendo conveniente que fiquem próximas da disponibilidade de matéria-prima. Eventualmente, elas poderiam ser construídas próximas às usinas de cana de açúcar para melhorar a logística.



## PLANTA DE ATJ

Pela via ATJ, os resíduos são encaminhados para usina de etanol de segunda geração (tecnologia 2G), baseada em hidrólise enzimática. Em seguida, o etanol é enviado para uma planta de ATJ, onde as moléculas de álcool são desidratadas, oligomerizadas e finalmente hidrogenadas em cadeias de hidrocarbonetos adequadas para serem usadas como combustíveis drop-in.

Para obter baixos custos logísticos e melhor utilização da infraestrutura, as usinas 2G poderiam ser convenientemente localizadas próximas às usinas de cana de açúcar. Devido ao nível de consumo de hidrogênio das plantas de ATJ, seria melhor também colocá-las perto de refinarias de petróleo.



## PLANTA HEFA

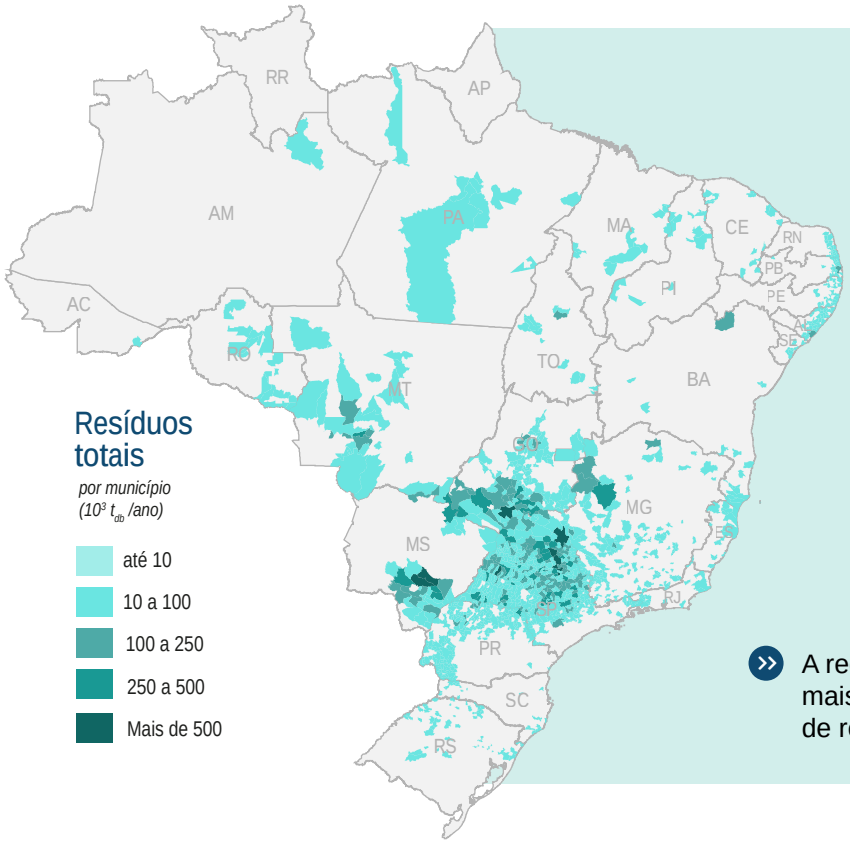
A planta de ésteres hidroprocessados e ácidos graxos (HEFA, na sigla em inglês) é atualmente o processo mais conhecido para a produção de SAF e já foi testada em larga escala.

No processo, a matéria-prima oleaginosa sofre hidrotratamento com hidrogênio na presença de um catalisador. As ligações de carbono insaturadas são saturadas e o oxigênio é removido. Posteriormente, as cadeias de hidrocarbonetos passam por *hydrocracking* em diferentes faixas, são isomerizadas e fracionadas, produzindo SAF e outros produtos, como diesel, nafta e propano.

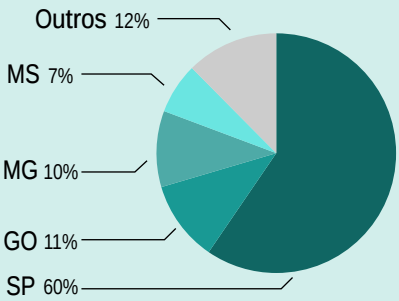
Por fim, o SAF é distribuído para aeroportos, onde é misturado ao querosene fóssil (Jet A).

# RESÍDUOS DE CANA DE AÇÚCAR

Os resíduos da cana de açúcar mais abundantes são o bagaço e a palha.




**61** milhões de toneladas por ano

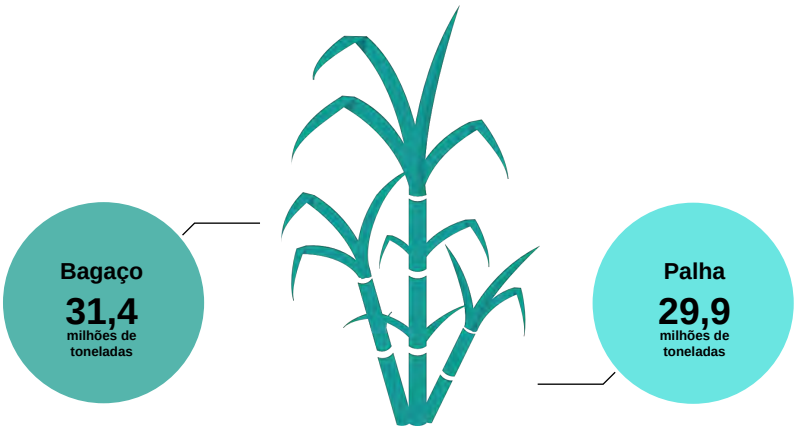



A região Centro-Sul responde por mais de 90% da disponibilidade atual de resíduos.

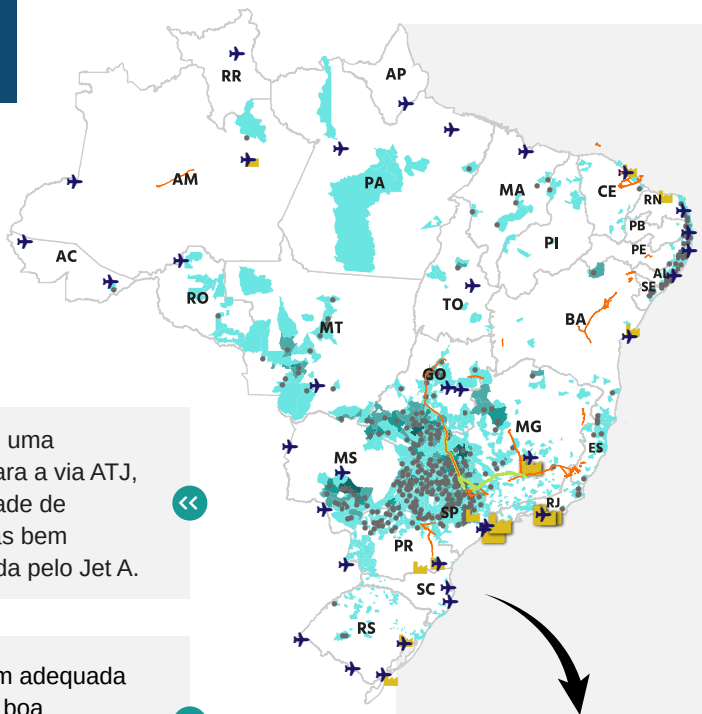
A cana entra na usina sucroalcooleira, onde é moída para separar o caldo do bagaço.

O caldo de cana é usado para produzir principalmente etanol 1G e açúcar. O bagaço (rico em material lignocelulósico) é normalmente queimado em caldeiras e gera calor e energia e sua disponibilidade está diretamente relacionada à eficiência da planta.

Disponibilidade dos resíduos da cana de açúcar, após a retirada dos já utilizados para aquecimento e energia. Parte da palha (7,5 $t_{db}$/ha de cana) é deixada no campo para fins agronômicos.



## Possíveis locais para a produção de SAF




**Resíduos totais**
*por município*
*($10^3$ $t_{db}$ /ano)*

- até 10
- 10 a 100
- 100 a 250
- 250 a 500
- Mais de 500

**Refinarias**
**Produção de Jet A**
*($10^3$ $m^3$/ano)*

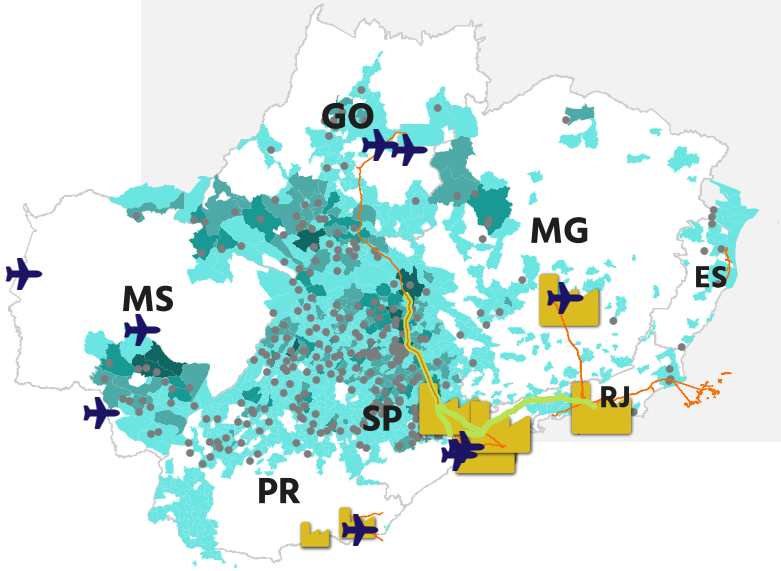
- até 500
- mais de 500

- Aeroportos Internacionais
- Plantas de etanol
- Pipeline de etanol
- Pipeline de gás

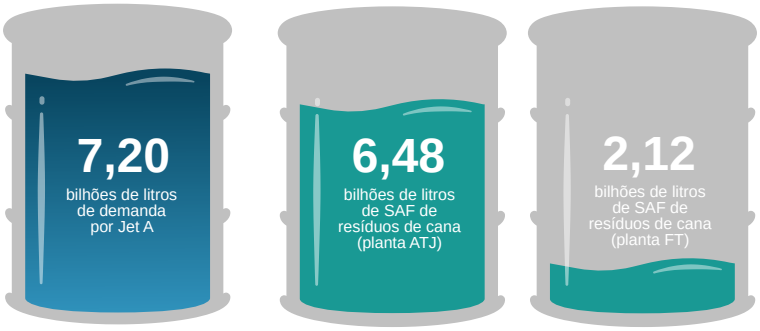
O Estado de São Paulo é uma localização estratégica para a via ATJ, devido à boa disponibilidade de matérias-primas, refinarias bem localizadas e alta demanda pelo Jet A.

A região Centro-Sul é bem adequada para as vias FT, devido à boa disponibilidade de matérias-primas e alta demanda por Jet A.

Um pipeline de etanol poderia distribuir etanol de segunda geração para plantas de ATJ próximas a refinarias de petróleo. Os pipelines de gás poderiam apoiar a distribuição de hidrogênio para as plantas de ATJ por meio da reforma do metano a vapor.



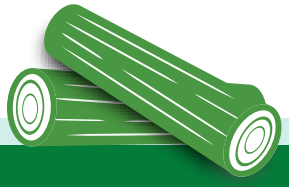

## Potencial de produção de SAF



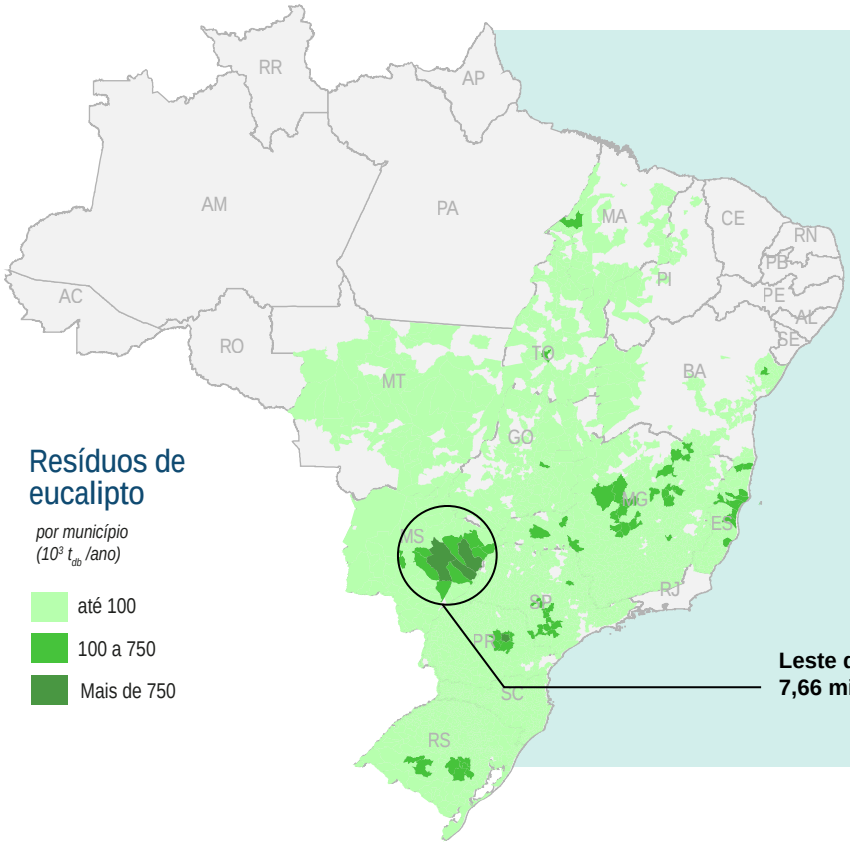

O excedente de bagaço e palha poderia suprir 90% da demanda total do Jat A produzido pela via ATJ, enquanto, pela via FT, os resíduos da cana poderiam suprir cerca de 30% da demanda total. Ambas as vias têm apresentado resultados excelentes que podem ser bastante representativos no mercado brasileiro.

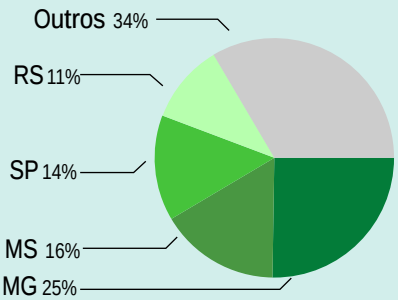
# RESÍDUOS DE MADEIRA

Os resíduos de eucalipto mais abundantes vêm de plantações de eucalipto. Este estudo trabalhou com uma taxa básica de recuperação de 50%.



**21 milhões de toneladas$_{db}$ por ano**



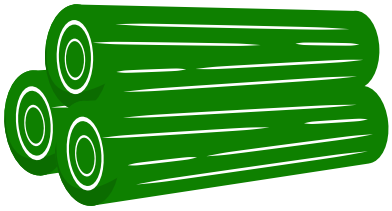




Os resíduos de madeira são gerados durante a colheita das lavouras de eucalipto. Os resíduos são coletados, picados e transportados para uma usina independente de etanol de segunda geração. Nessa usina, o etanol é obtido por meio de explosão a vapor, seguida de hidrólise enzimática.

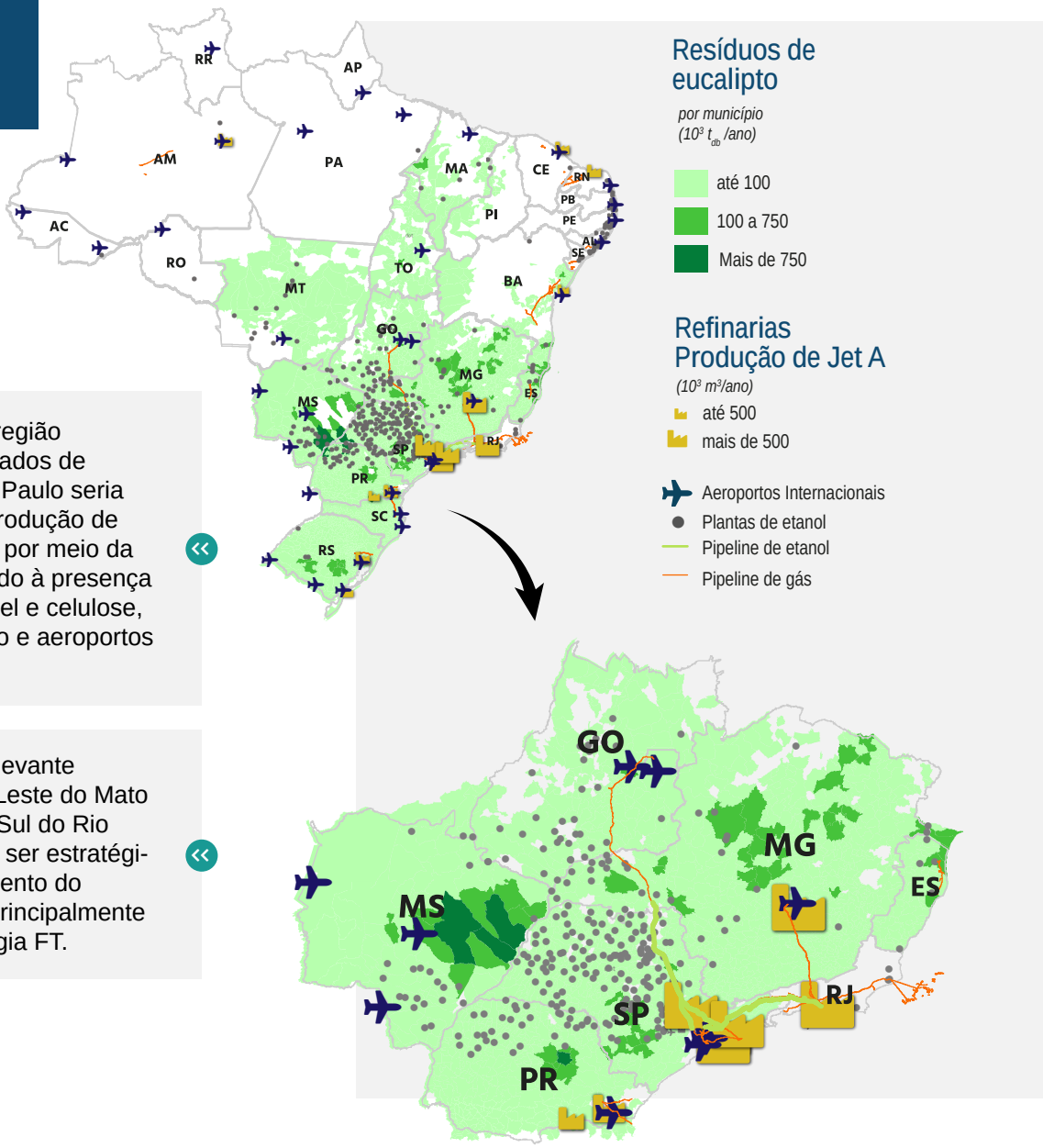
A demanda de energia para a usina de etanol 2G é suprida por resíduos da cana de açúcar queimados em um sistema de cogeração, o que também gera eletricidade excedente. O etanol é então enviado para uma planta de ATJ, onde as moléculas são convertidas em SAF.

São considerados apenas os resíduos das plantações de eucalipto, que representam cerca de 70% das áreas de florestas plantadas no Brasil (IBA, 2019).

O eucalipto gera cerca de 0,167 t de resíduos por metro cúbico, durante seu ciclo de colheita.



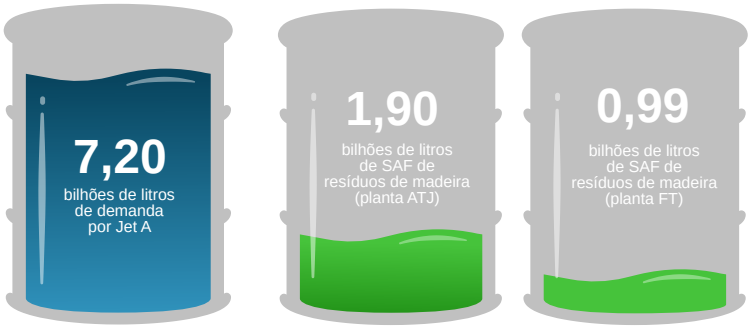
## Possíveis locais para a produção de SAF




A matéria-prima da região CentroNorte dos estados de Minas Gerais e São Paulo seria estratégica para a produção de SAF, principalmente por meio da tecnologia ATJ, devido à presença de indústrias de papel e celulose, refinarias de petróleo e aeroportos com alto consumo.

Por outro lado, o relevante potencial da região Leste do Mato Grosso do Sul e do Sul do Rio Grande do Sul pode ser estratégico para o abastecimento do consumo regional, principalmente por meio da tecnologia FT.

## Potencial de produção de SAF

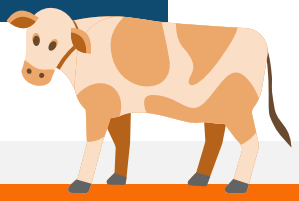



Por meio das tecnologias ATJ e FT, o potencial total de resíduos de madeira poderia suprir, respectivamente, 26% e 14% do total do Jet A consumido no Brasil a cada ano.
Os resíduos de madeira poderiam suprir o consumo de querosene fóssil dos estados de Minas Gerais (em 1,5 vezes) e Mato Grosso do Sul (em 9,6 vezes), ou fornecer volumes de combustíveis como os consumidos no Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

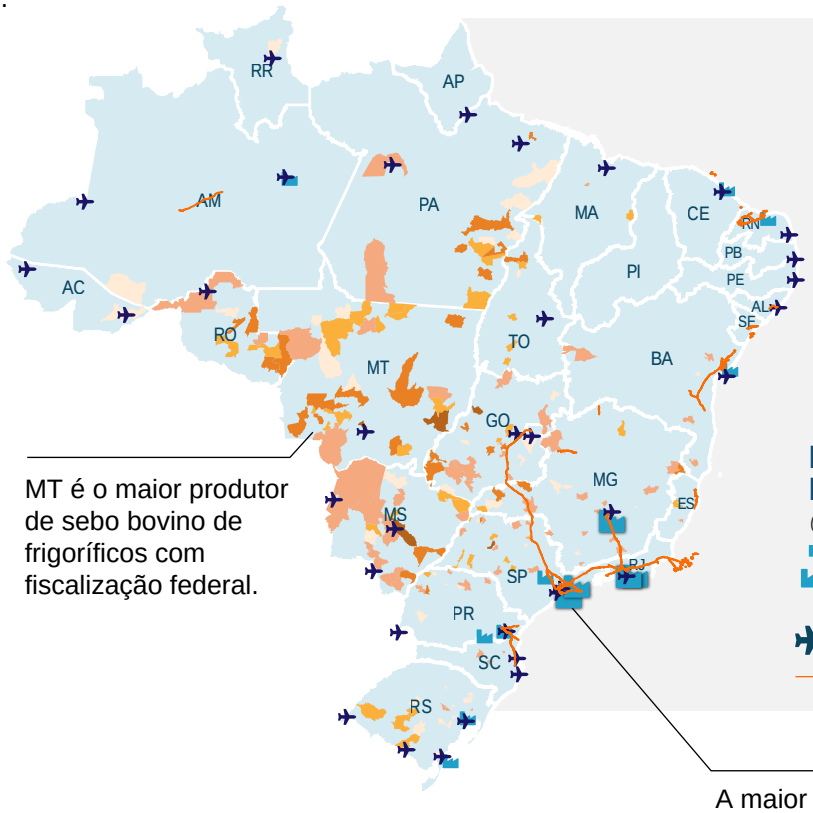
# SEBO BOVINO

O sebo bovino é usado principalmente no Brasil para a produção de biodiesel (700 t / ano).

.



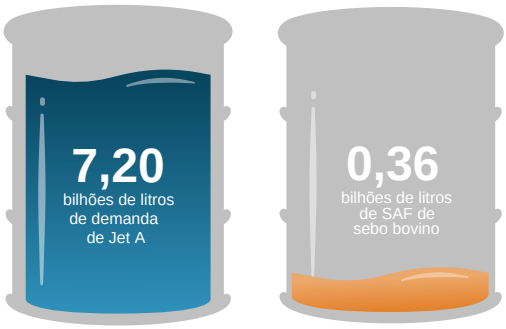
**530** mil toneladas por ano




MT é o maior produtor de sebo bovino de frigoríficos com fiscalização federal.

A maior parte da capacidade de produção e consumo do Jet A está localizada nos litorais do Sul e no Sul do Brasil.

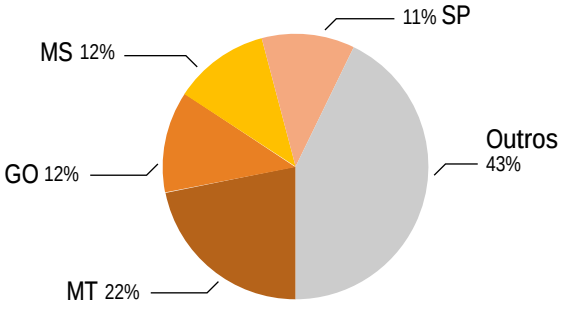
## Potencial de produção de SAF







O sebo bovino de frigoríficos com padrão internacional de qualidade poderia atender cerca de 5% da demanda total do Jet A no Brasil.




O sebo bovino é processado em plantas HEFA, que requerem grandes volumes de hidrogênio e devem estar localizadas próximas a refinarias de petróleo.

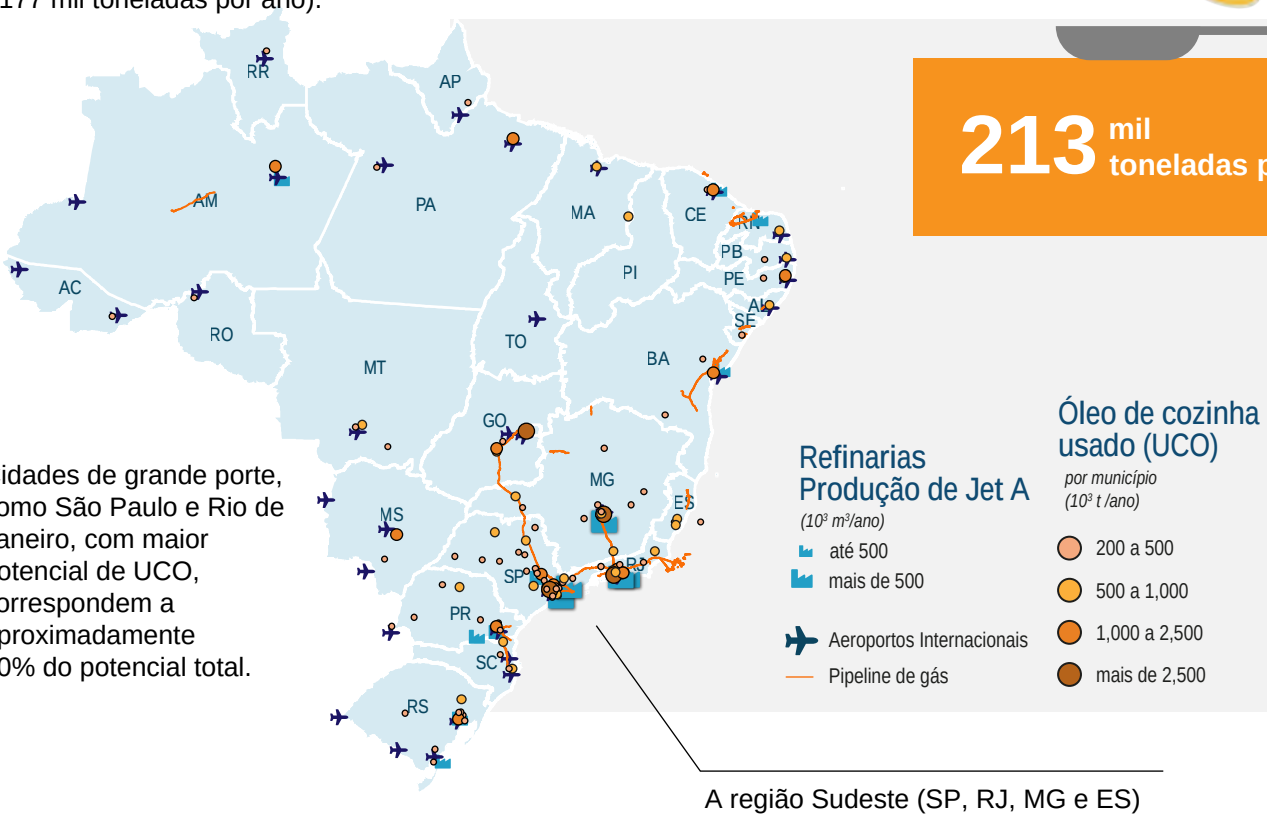
A construção de plantas HEFA próximas a pipelines de gás para produção de hidrogênio, pode abastecer consumidores regionais - inclusive aeroportos internacionais - próximos a áreas com alta disponibilidade de matéria-prima, como no Mato Grosso do Sul.

# ÓLEO DE COZINHA USADO (UCO, NA SIGLA EM INGLÊS)



- O óleo de cozinha usado (à base de óleo vegetal) pode ser recuperado tanto nas residências (35 mil toneladas por ano) quanto nos serviços de alimentação (177 mil toneladas por ano).

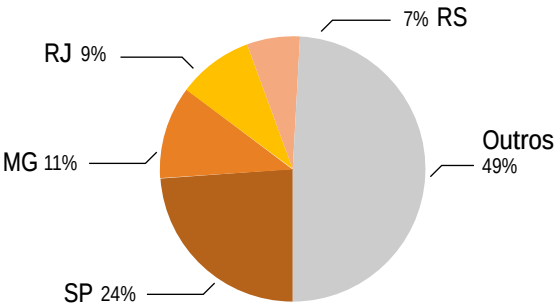
**213 mil toneladas por ano**

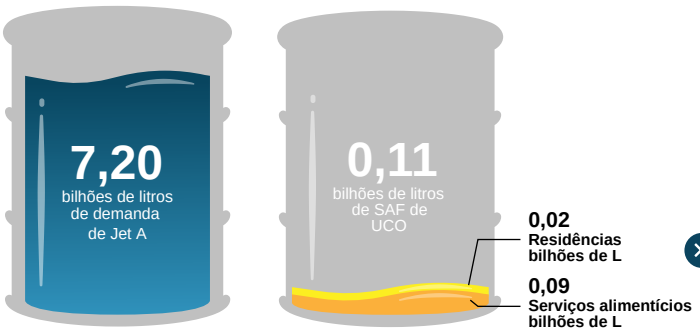



- Cidades de grande porte, como São Paulo e Rio de Janeiro, com maior potencial de UCO, correspondem a aproximadamente 10% do potencial total.

A região Sudeste (SP, RJ, MG e ES) representa aproximadamente 55% da disponibilidade total de UCO.

## Potencial de produção de SAF



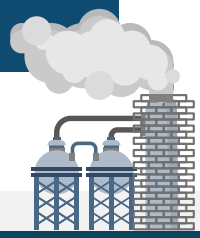




- Mais de 3 bilhões de litros de óleo são consumidos no Brasil para processos de fritura e menos de 10% são reciclados.

- Considerando o potencial de UCO, um total de 35 a 211 mil toneladas de UCO poderiam ser usadas para abastecer entre 0,3% e 1,5% do total do Jet A consumido no Brasil.

- O Brasil não possui uma cadeia de suprimentos bem desenvolvida para a coleta de UCO. Há um número crescente de iniciativas para desenvolver a coleta e aproveitar o baixo custo de aquisição e potenciais benefícios ambientais.

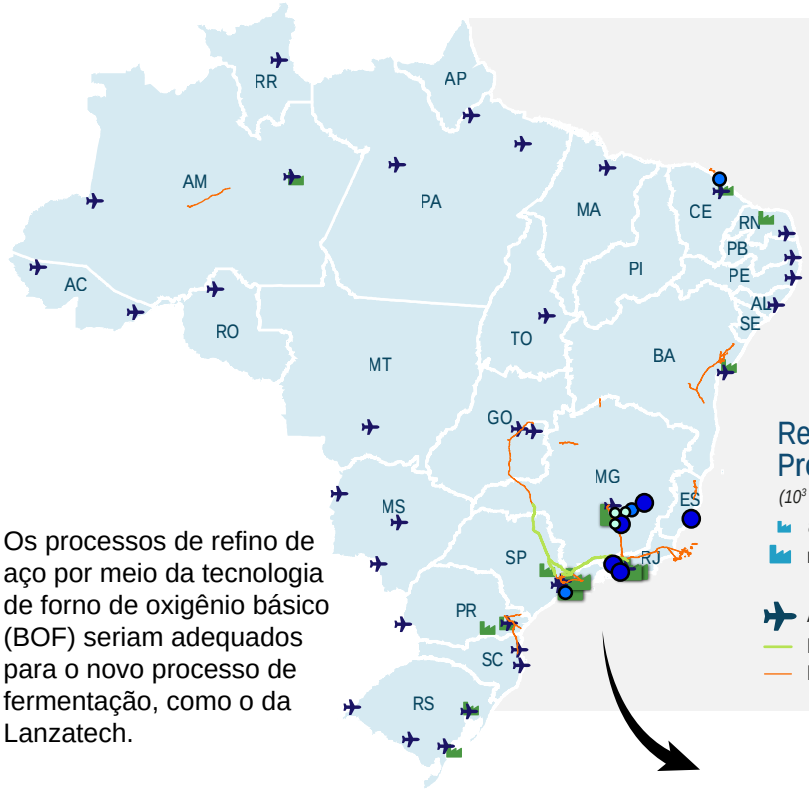
# GÁS DE COMBUSTÃO



Este mapeamento considera uma nova tecnologia de fermentação de gás rico em CO para a produção de etanol, que já atingiu escala comercial.

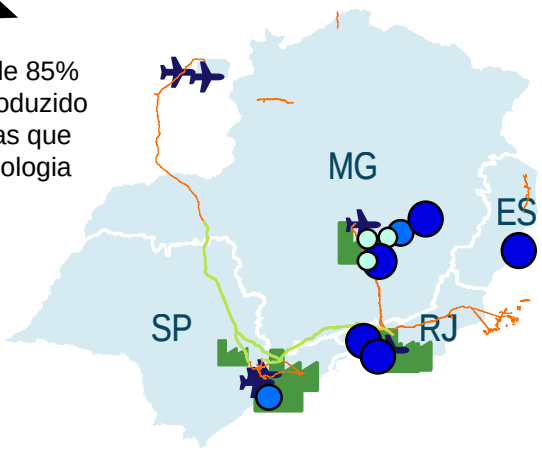
**2823** milhões Nm³ por ano*

*em condições normais de temperatura e pressão

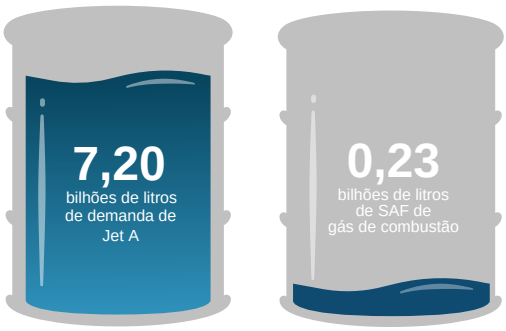



Os processos de refino de aço por meio da tecnologia de forno de oxigênio básico (BOF) seriam adequados para o novo processo de fermentação, como o da Lanzatech.

No Brasil, cerca de 85% do aço bruto é produzido por 12 siderúrgicas que empregam a tecnologia BOF.




## Potencial de produção de SAF



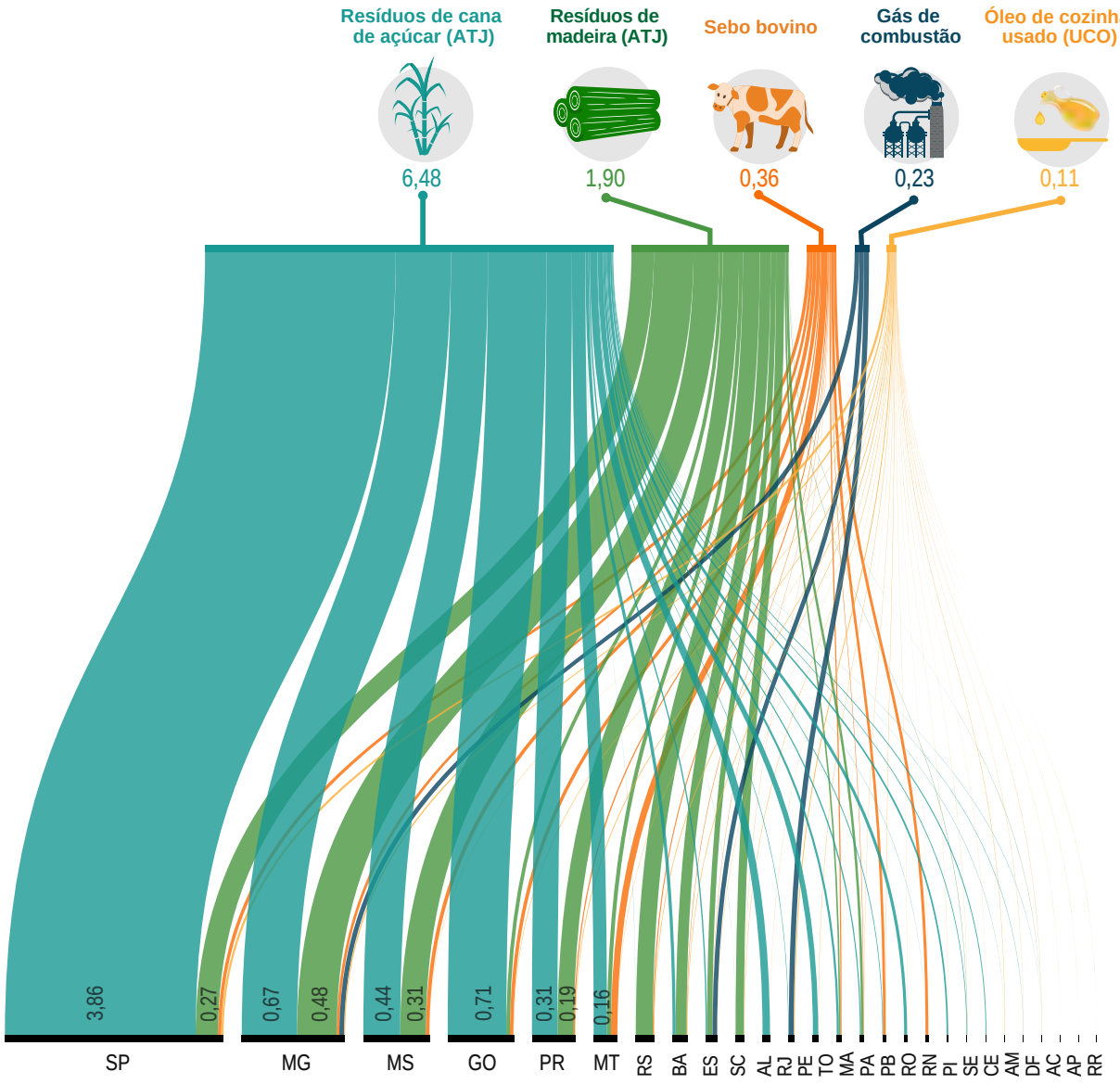

Considerando a disponibilidade de gases de combustão, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo seriam responsáveis por 35%, 27% e 24% da produção potencial de SAF.

O uso total de gases de combustão para a produção de SAF poderia suprir cerca de 3% da demanda total de querosene no Brasil.

Cerca de 60% dos gases de combustão do processo de refino do aço estão sendo usados atualmente no Brasil para suprir a demanda de energia das siderúrgicas. Utilizar para a produção de etanol poderia ser uma opção estratégica para a indústria do aço, mas exigiria uma análise de custos de oportunidade.

# POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SAF

Potencial de produção de SAF nos estados brasileiros a partir de cada matéria-prima (milhões de litros)




## Potencial de matéria-prima: cana de açúcar e resíduos de madeira

Poderia suprir 90% e 30% da demanda total do Jet A por meio da via ATJ, respectivamente; ou 30% e 14% por meio da tecnologia FT. Considerando a disponibilidade efetiva dessas matérias-primas, e as misturas máximas aprovadas com Jet A (50% v / v), o SAF produzido a partir desses resíduos no Brasil poderia suprir a demanda atual e até ser exportado.

## Potencial reional: Sudeste Brasileiro

O estado de São Paulo reúne alta disponibilidade de matéria-prima e alta demanda do Jet A, além da existência de refinarias de petróleo para suprir o hidrogênio necessário na via ATJ. Porém, dependeria da otimização das usinas de cana de açúcar para proporcionar uma geração excedente de resíduos, uma vez que atualmente eles são utilizados para abastecimento de energia própria. Os resíduos de madeira também poderiam ser explorados na tecnologia FT nos estados de MS Mato Grosso e RS Rio Grande do Sul para consumo local.

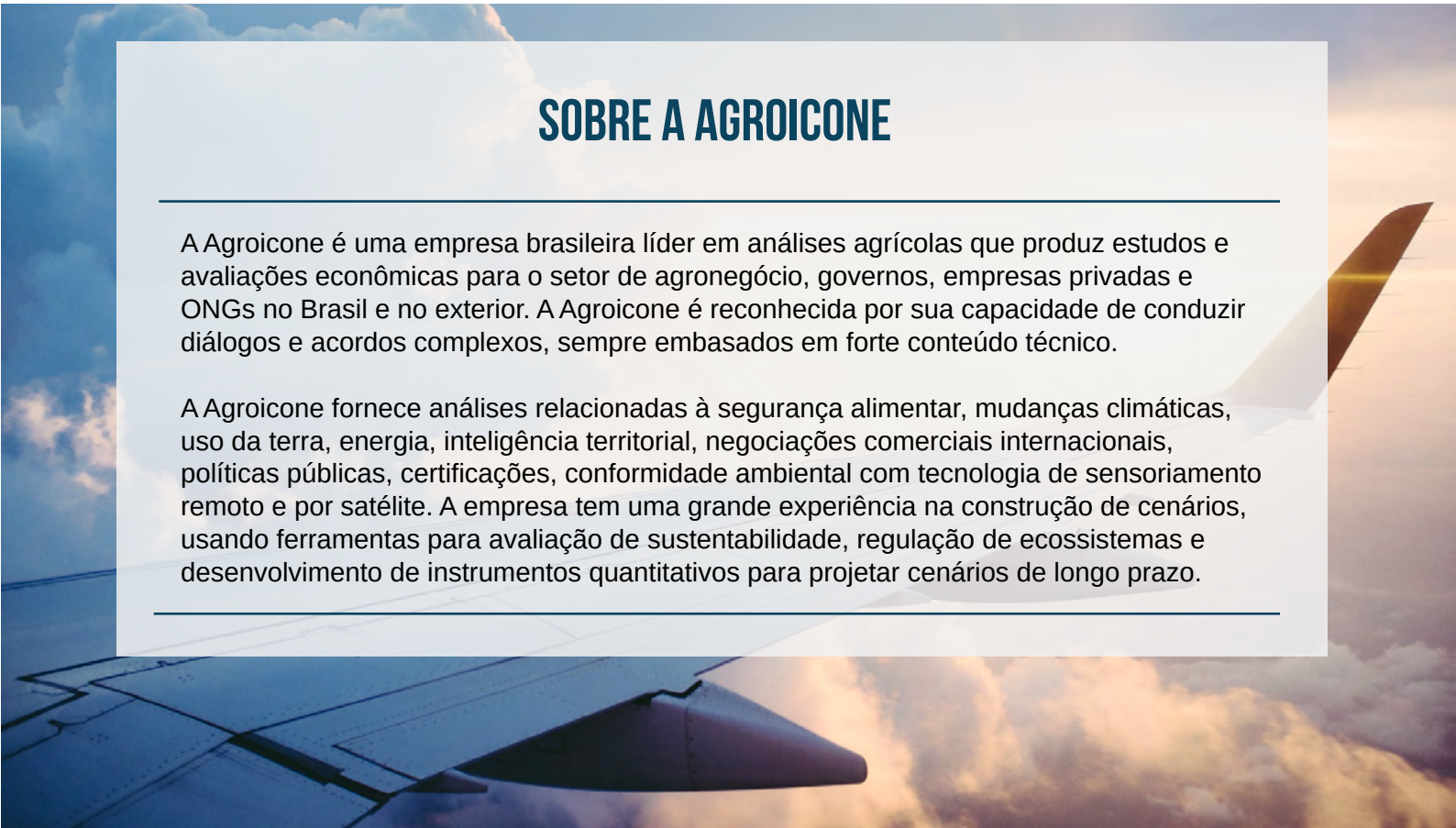
# SOBRE A RSB

A Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB, na sigla em inglês) é uma organização global independente formada por múltiplas partes interessadas que promove o desenvolvimento de uma economia circular e de base biológica em escala global por meio de soluções de sustentabilidade, certificação e parcerias colaborativas.

*Com soluções confiáveis, expertise global, parceiros em todo o espectro, de governos a indústrias, universidades e ONGs, e uma abordagem extremamente robusta para a sustentabilidade, a RSB é a parceira de escolha para a indústria de aviação em busca de cumprir seus compromissos globais com a redução de gases de efeito estufa ao mesmo tempo em que garante o desenvolvimento social e a proteção ambiental.*

*A RSB é uma organização liderada por membros que representa um movimento mundial de empresas, ONGs, acadêmicos, governos e organizações da ONU que demonstraram seu compromisso com o desenvolvimento da bioeconomia sustentável, trabalhando juntos para criar nosso Padrão mais confiável.*

*O Padrão RSB é o mais robusto e confiável de seu tipo, sendo reconhecido como tal pelo World Wildlife Fund (WWF), União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN) e Conselho de Defesa de Recursos Naturais (NRDC). A certificação RSB para SAF foi endossada por grupos de aviação como o Aviation Transport Action Group (ATAG) e a Coalizão Internacional para a Aviação Sustentável (ICSA).*



# SOBRE A AGROICONE

A Agroicone é uma empresa brasileira líder em análises agrícolas que produz estudos e avaliações econômicas para o setor de agronegócio, governos, empresas privadas e ONGs no Brasil e no exterior. A Agroicone é reconhecida por sua capacidade de conduzir diálogos e acordos complexos, sempre embasados em forte conteúdo técnico.

A Agroicone fornece análises relacionadas à segurança alimentar, mudanças climáticas, uso da terra, energia, inteligência territorial, negociações comerciais internacionais, políticas públicas, certificações, conformidade ambiental com tecnologia de sensoriamento remoto e por satélite. A empresa tem uma grande experiência na construção de cenários, usando ferramentas para avaliação de sustentabilidade, regulação de ecossistemas e desenvolvimento de instrumentos quantitativos para projetar cenários de longo prazo.

**Autores:**
Da RSB: Carolina Grassi e Simone P. Souza.
Da Agroicone (e parceria com a Universidade Estadual de Campinas): Marcelo Moreira, Stella Carvalho, Lucas G. P. Silveira, Rafael Capaz, Joaquim Seabra, Gabriel M. Cruz e César de Oliveira.

Este relatório resumido é baseado no relatório técnico intitulado Mapeando a Disponibilidade de Matérias-Primas para Combustíveis Sustentáveis de Aviação no Brasil..

Disponível online em [link]. Para obter mais informações sobre outros resultados deste projeto, entre em contato com RSB (info@rsb.org / www.rsb.org).

A pesquisa apresentada neste relatório foi conduzida pela Agroicone e RSB com o apoio financeiro da Boeing.

**Edição de texto:** Simone P Souza, Carolina Grassi, Rafael Capaz.
**Layout:** Sepia Studio (www.sepia.studio)

**Citação:** RSB & Agroicone (2021). Disponibilidade de matéria-prima para combustível sustentável de aviação no Brasil: desafios e oportunidades. Roundtable on Sustainable Biomaterials, Suíça.

## VOCÊ ESTÁ PRONTO PARA AJUDAR A CONSTRUIR O FUTURO SUSTENTÁVEL DA INDÚSTRIA DE AVIAÇÃO?

*Apoie a transformação da indústria da aviação – uma indústria sustentável e de baixo carbono!*

**ENTRE EM CONTATO CONOSCO**

Impact Hub Geneva
Rue Fendt 1, 1201
Geneva | Switzerland
+41 22 534 90 50
info@rsb.org

RSB
Trusted Solutions for a New World
www.rsb.org