

# USO DE UM SISTEMA DE GESTÃO DE BANCO DE DADOS (DBMS) PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOQUEROSENE: ESTUDO DE CASO PARA O EUCALIPTO EM MINAS GERAIS

Nathália Duarte Braz Vieira, Arnaldo Walter, Joaquim Eugênio Abel Seabra e Desiree Baldin Damame.

*Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP, 13083-860, Brasil.*

N D B Vieira ([nathaliadbv.ufop@gmail.com](mailto:nathaliadbv.ufop@gmail.com)); A Walter ([awalter@fem.unicamp.br](mailto:awalter@fem.unicamp.br)); J E A Seabra ([jseabra@fem.unicamp.br](mailto:jseabra@fem.unicamp.br)) e D B Damame ([desireedamame@yahoo.com.br](mailto:desireedamame@yahoo.com.br)).

## RESUMO

A substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis de aviação sustentáveis é uma das principais estratégias de mitigação de emissões adotadas pelo setor de aviação civil. Nesse sentido, está sendo desenvolvido um Sistema de Gestão de Banco de Dados com informações relativas a biomassas potenciais à produção de bioquerosene no Brasil. O presente estudo consiste na validação dessa ferramenta, pela análise de viabilidade de produção de bioquerosene a partir da gaseificação do eucalipto utilizando a rota *Fisher-Tropsch* em uma unidade industrial instalada na refinaria Gabriel Passos (REGAP), em Betim-MG. Foram selecionadas áreas avaliando-se a produtividade florestal média, os preços da terra, os custos de produção e de transporte da madeira, para os cenários: i) áreas próximas à REGAP, com preços de terra relativamente altos; ii) áreas de reflorestamento existentes, nas quais o preço da terra é baixo; iii) áreas em que o transporte ferroviário é justificável. Foram identificadas 13 localidades, totalizando uma oferta de madeira úmida de 27.923 mil t, com variação de 41% entre os custos. Contudo, seis regiões suprem a unidade a um custo médio de 3,18 Euro/GJ. Os resultados indicam que o custo da madeira pode variar significativamente entre regiões, sendo o preço da terra um fator determinante.

**Palavras-chave:** Sistema de gestão de dados, biocombustíveis de aviação, potencial, custos.

## 1. INTRODUÇÃO

A aviação civil é responsável por cerca de 2% do total das emissões de gases de efeito estufa relacionadas às cadeias energéticas (IPCC, 2014), com projeções de crescimento expressivas. Segundo CAMES et al. (2015), podem chegar a 22% das emissões globais em 2050 se nada for feito. Nesse sentido, acordos internacionais estão sendo firmados, como o “Esquema de Redução e Compensação de Emissões da Aviação Internacional” (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for*



*International Aviation - CORSIA*, em inglês), de 2016, da Organização da Aviação Civil Internacional – OACI (*International Civil Aviation Organization - ICAO*), que visa neutralizar as emissões do setor a partir de 2021.

A substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis de aviação sustentáveis (*Sustainable Aviation Fuels - SAFs*, em inglês) é uma das principais estratégias de mitigação adotadas no âmbito do CORSIA. O Brasil se comprometeu a entrar no acordo a partir da fase obrigatória (SOARES, 2018), mas pode haver grandes oportunidades desde o início. O país tem um potencial significativo para a produção de biocombustíveis, tanto pela tradição existente quanto pelas condições adequadas de clima, disponibilidade de terra, e diversidade de biomassas disponíveis.

Nesse sentido, está em desenvolvimento um Sistema de Gestão de Banco de Dados (*Database Management System - DBMS*), como ferramenta de auxílio a tomadores de decisão na obtenção de informações relativas a biomassas promissoras à produção de SAFs, no Brasil. O presente estudo foi desenvolvido com uso da versão do DBMS disponível ao final do 1º ciclo de pesquisas, visando a validação do sistema e identificação dos aprimoramentos necessários. Atualmente, a plataforma encontra-se em fase de refinamento e o objetivo é identificar, com o DBMS, áreas aptas a produção de SAFs em função de parâmetros como aptidão agrícola, topografia, uso da terra, entre outros. O projeto em questão é executado por pesquisadores da Unicamp, com apoio da Boeing Pesquisa e Tecnologia – Brasil (BR&TB), como parte da *The Boeing Company* (Boeing), e do JRC (*Joint Research Center – Sustainable Aviation Biofuels Research & Development*) criado pela Boeing e Embraer S.A.

## 2. METODOLOGIA

O presente estudo reporta a análise preliminar de viabilidade da produção de SAFs baseada na gaseificação de eucalipto pela rota *Fisher-Tropsch*, em Minas Gerais.

### 2.1 Área de estudo

Foi considerada uma unidade industrial instalada na refinaria Gabriel Passos (REGAP), em Betim-MG, visando o abastecimento do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, a 72 km do local. A localização na REGAP corresponde ao que é mencionado na literatura como alternativa *co-locating* (de JONG *et al.* 2015). As justificativas estão no interesse em se compartilhar utilidades industriais e infraestruturas já existentes, inclusive a de distribuição. Uma possível justificativa também seria a



necessidade de aporte de hidrogênio para corrigir a composição do gás resultante da gaseificação, ou para o hidrotratamento, mas foi assumido que isso não seria necessário.

## 2.2 Processo industrial

Quanto à unidade industrial, a referência utilizada é de Jong *et al.* (2015). No caso da rota FT, a capacidade considerada corresponde ao processamento de 2.000 toneladas de biomassa por dia, completamente seca ( $t_{seca}/dia$ ). Na situação referencial, os autores assumiram rendimento 0,17 t de produtos (bioquerosene, diesel e nafta) por t de biomassa seca processada. Supondo 90% o fator de capacidade anual da unidade industrial (de JONG *et al.* 2015), a produção anual de combustíveis seria equivalente a 140 ML/ano. Supondo que 15% da produção total corresponda a bioquerosene, seriam produzidos como tal 21.000 L/ano, o que representa muito pouco do consumo de querosene de aviação no Brasil (4,02 BL em 2017) (EPE, 2018).

## 2.3 Unidade florestal

A biomassa é madeira de eucalipto, proveniente de plantios dedicados próximos à unidade industrial. Para isso, as espécies escolhidas poderiam ser *E. Grandis*, *E. Urophylla* (mais utilizadas pela indústria de celulose) ou *E. Cloeziana* (mais indicada para uso energético). As informações de produtividade florestal utilizadas derivam de estudo da EMBRAPA (GUIMARÃES e SANS, sd), no qual as três espécies foram consideradas. A partir das estimativas de produtividade apresentadas pelos autores, foi feito um ajuste estatístico entre as produtividades em ciclos de sete anos ( $m^3/ha/ciclo$ ) e os parâmetros utilizados no DBMS para a definição da adequação de áreas ao plantio de eucalipto (associadas à adequação hídrica, de solo, temperatura, altitude e risco de geada). As áreas foram classificadas em adequadas ( $> 280 m^3/ha$  em sete anos), marginais (entre 210-280  $m^3/ha$ ) e inadequadas ( $< 210 m^3/ha$ ). No DBMS são gerados mapas de produtividade para a identificação de áreas de maior potencial. Na versão atual, os mapas são construídos sobre a plataforma *Google Maps*.

## 2.4 Custos de produção e transporte da madeira

Em de Jong *et al.* (2015) o custo da biomassa varia entre 3,6-6,1 Euro/GJ, e essa faixa foi adotada como custo alvo (custo da biomassa posta na REGAP) na identificação de áreas de plantio.

Os preços da terra (para “Silvicultura e Pastagem Natural”) foram tomados da base de dados da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais (EMATER, 2018), que publica



preços de mercado, por hectare, para diferentes municípios e usos da terra. O impacto do preço da terra no custo da produção florestal foi estimado a partir do cálculo de uma série uniforme, supondo o investimento inicial como sendo o preço por hectare, extensão temporal de 21 anos (i.e. três ciclos de produção) e taxa de desconto de 8% a.a.

Os chamados custos de implantação da floresta correspondem ao investimento na preparação do terreno, plantio de mudas, e a todos os custos de manutenção até o momento de corte. Esses custos foram levantados no âmbito do projeto<sup>1</sup> e os custos adotados correspondem à mediana dos valores obtidos (8.306 R\$/ha, em 2016, sendo que o valor mínimo no conjunto de dados é 6.362 R\$/ha e o valor máximo 9.406 R\$/ha). Já os custos de corte foram tomados de IEMA (2017), sendo 11 R\$/m<sup>3</sup> para áreas planas e 46 R\$/m<sup>3</sup> em áreas com declividade acentuada.

Para cálculo do custo do transporte da madeira até a REGAP, foi considerado o uso de caminhões com capacidade de 54 t, a partir da distância indicada (em km) pela função “**Calcular Rota**” disponível no DBMS. Foi considerado um fator de tortuosidade (%), que corresponde a desvios necessários na rota, a fim de se evitar áreas urbanas. O custo é estimado a partir de valores apresentados em IEMA (2017).

## 2.5 Seleção de áreas

Conhecidos os custos, e cientes de que parcela de transporte pode ser muito impactante, inicialmente foram identificadas áreas próximas à REGAP (distâncias até 200 km por via rodoviária) e com maior produtividade. A seleção de áreas foi realizada evitando-se concentrações populacionais e terrenos escarpados.

Na medida em que os custos da madeira foram calculados, identificou-se que as áreas mais adequadas não são necessariamente próximas à REGAP e nem possuem produtividade elevada, dado que o preço da terra pesou significativamente nos custos e há limitação de áreas disponíveis. Assim, o procedimento de seleção foi redirecionado para a busca de áreas planas em municípios em que o preço da terra é baixo (i.e. abaixo de 5.000 R\$/ha). Consequentemente, foram identificadas áreas de reflorestamento já existentes. Essas foram aceitas na avaliação do conjunto de alternativas

---

<sup>1</sup> Dados disponíveis na página do projeto ([https://unicamp.hdc.com.br/site/biomassa-eucalipto/#\\_title6](https://unicamp.hdc.com.br/site/biomassa-eucalipto/#_title6))

---



para o suprimento da unidade industrial, embora, na prática, a concorrência com as siderúrgicas acabe por impor preços maiores do que os custos de suprimento estimados.

A última variante do procedimento de seleção de áreas foi definida pelo interesse de serem identificadas áreas aptas próximas a linhas férreas, mas distantes da REGAP (para justificar o transporte ferroviário, mais barato que o rodoviário). Há um terminal ferroviário muito próximo à REGAP, e a hipótese adotada foi de que há espaço, próximo à refinaria, para a estocagem de carregamentos que podem corresponder à demanda de madeira de vários dias.

Desse modo, foram considerados os seguintes cenários: i) áreas próximas à REGAP, nas quais o preço da terra é relativamente alto; ii) áreas de reflorestamento já existentes, à Oeste/Norte da REGAP, nas quais o preço da terra é baixo; iii) áreas para que o transporte ferroviário seja justificável.

As áreas foram delimitadas e calculadas a partir da função “**Criar polígono**” disponível no DBMS. Por se tratar de uma plataforma ainda em desenvolvimento, não foi possível demarcar áreas de modo a excluir restrições como corpos d’água e vegetação natural. Assim, foram deduzidos percentuais da área no procedimento de cálculo, que variam de 10 a 40%, dependendo das restrições no polígono demarcado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram avaliadas 13 diferentes localidades, conforme os cenários previamente mencionados, como mostra a Figura 1<sup>2</sup>. Os parâmetros obtidos por meio do DBMS foram utilizados no cálculo da produção de madeira em diferentes áreas e de seus custos.

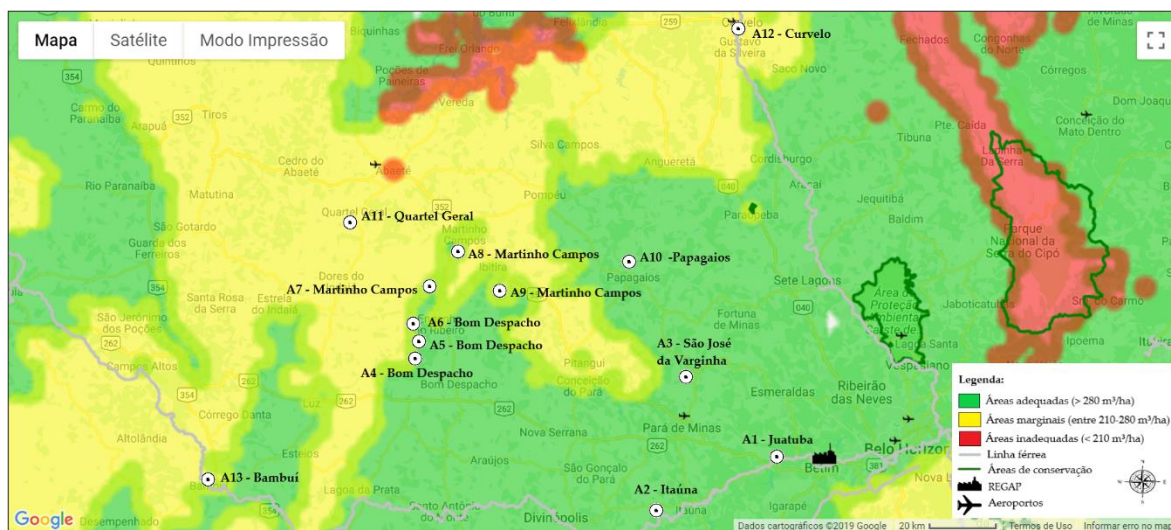
No primeiro cenário, as três regiões avaliadas apresentam os maiores custos de aquisição da terra. Logo, mesmo com as menores distâncias (< 100 km), o custo da terra representa uma parcela significativa. Em Juatuba, por exemplo, apesar da região ser a mais próxima da unidade (~35 km) e possuir a maior produtividade (293 m<sup>3</sup>/ha/ciclo), o alto custo da terra (20.000 R\$/ha) representa quase 47% dos custos finais. Além disso, uma grande fração do terreno não é aproveitada (40%).

---

<sup>2</sup> Para detalhamento dos cenários e áreas avaliadas, o projeto disponibiliza um relatório completo do estudo (Relatório da Prova de Conceito), disponível em: <https://unicamp.hdc.com.br/site/downloadrelatorios/>



Figura 1: Áreas avaliadas no estudo.



Em relação ao segundo cenário, foram identificadas áreas mais distantes da REGAP (entre 100 e 200 km de distância), próximas ao município de Bom Despacho. Nessas áreas, apesar de classificadas como zonas marginais para produção de eucalipto, foram encontrados plantios florestais já existentes. Nesse município, o preço da terra utilizada para silvicultura é relativamente baixo (R\$ 1.500/ha), o que impacta positivamente o custo da produção, representando apenas 4% do custo total. Além disso, as áreas consideradas são planas, reduzindo também os custos de corte e carregamento. Apesar da distância e do baixo aproveitamento da área (dedução de até 40%), o baixo preço da terra faz com que os custos estejam entre os mais baixos entre as áreas estudadas (em média, 3,02 Euro/GJ).

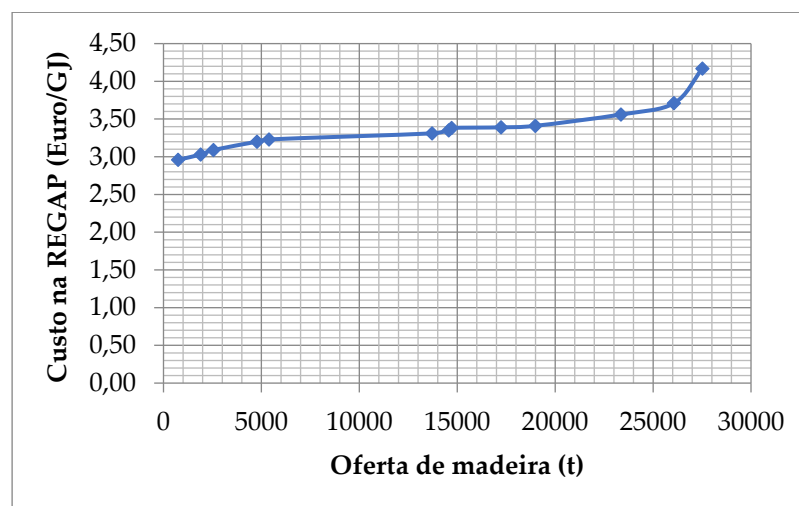
No terceiro cenário foram estudadas regiões que distam mais de 200 km da REGAP, de modo que o transporte ferroviário possa ser uma vantagem. Evidente que o transporte ferroviário é mais justificável quanto maior a distância a ser vencida, e quanto maior o suprimento proveniente da região considerada. Entre as duas situações analisadas, a de Curvelo é mais favorável porque a produção já é competitiva em relação aos demais casos analisados, e uma pequena redução do custo de transporte já é suficiente para melhorar a competitividade. Como a produção potencial é muito grande, os investimentos seriam justificáveis e a infraestrutura poderia ser otimizada. Comparativamente, no caso de Bambuí a distância é favorável ao transporte ferroviário, mas a produção é mais cara por causa do preço da terra. Por outro lado, no caso do transporte ferroviário um aspecto fundamental a ser considerado é o ônus associado à chegada de 68 caminhões “bitrem”



(de capacidade de 54 t cada) por dia à REGAP, carregados de madeira (para a operação a plena carga), o que torna esse modal atrativo.

A curva de oferta para as 13 avaliações é apresentada na Figura 2. O requerimento anual de biomassa para a operação nas condições analisadas é 657 mil toneladas de madeira seca, ou 1.337,7 toneladas de madeira com teor de umidade (TU) 104%. Portanto, em sete anos, que é a duração do ciclo florestal considerado, há necessidade de garantia de suprimento equivalente a 4.599 mil toneladas de madeira seca, ou 9.364 toneladas de madeira com TU 104%. A oferta total estimada neste exercício é 27.923 mil toneladas de madeira úmida, o que poderia assegurar a produção por quase três anos. A produção nas seis localidades de menor custo seria suficiente para assegurar a produção contínua da unidade industrial. O custo médio ponderado seria 3,18 Euro/GJ, ou seja, 12% abaixo do custo mínimo (3,60 Euro/GJ) considerado por de Jong *et al.* (2015). Em relação ao custo assumido pelos autores no caso de referência (4,80 Euro/GJ), o custo médio de suprimento da avaliação aqui feita é 34% menor.

**Figura 2:** Curva de oferta de madeira úmida posta na REGAP para as 13 avaliações (considerando transporte rodoviário em todos os casos).



Nos dois casos de custos extremos (uma área em Bom Despacho - 2,96 Euro/GJ, e em Bambuí - 4,17 Euro/GJ) o aspecto determinante é o frete rodoviário, que representa mais de 50% do custo posto fábrica. Em ambos os casos, a distância excede 100 km. Se não fosse o preço da terra, a relação entre os dois custos extremos da avaliação feita, que chega a 41%, seria reduzida para 24%.



#### 4. CONCLUSÕES

Apesar das limitações, a primeira versão do DBMS já é de grande utilidade. A falta de informações sobre declividade e uso da terra faz com que o processo de análise ainda seja pouco objetivo. Essas duas informações serão incluídas na nova versão, permitindo a composição com outros parâmetros relevantes. Análises prévias sobre o impacto do custo de transporte e do preço da terra ajudariam o usuário a priorizar algumas soluções, e a descartar outras.

A conclusão geral é que a versão do DBMS disponível ao final do primeiro ciclo de desenvolvimento é muito útil na identificação de áreas adequadas, dos custos de produção, e em estudos de viabilidade. A identificação das várias alterações possíveis fará com que a plataforma seja aprimorada, facilitando seu uso, e melhorando a qualidade da informação obtida.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMES, M.; GRAICHEN, J.; SIEMONS, A.; COOK, V. **Emission Reduction Targets for International Aviation and Shipping**. Study for the ENVI Committee. 2015. Disponível em: <[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/569964/IPOL\\_STU\(2015\)569964\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/569964/IPOL_STU(2015)569964_EN.pdf)> (acesso em 24/05/2019)

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**. 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>> (acesso em 24/05/2019)

EMATER, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais. **Valor de Terra Nua**. 2018. Disponível em: <[http://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite\\_pagina\\_interna&id=19167](http://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite_pagina_interna&id=19167)> (acesso em )

GUIMARÃES, D.P.; SANS, L.M.A. **Zoneamento do Potencial Produtivo do Eucalipto em Minas Gerais**. Relatório de projeto. Disponível em <https://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/finep/metas-fisicas/meta-fisica-6/relatorios/04%20-%20zoneamento-eucalipto-minas-gerais.doc/view>.

IEMA – Instituto Energia e Meio Ambiente. **Reservatórios Verdes**. Apresentação em evento realizado em São Paulo, em Setembro de 2017.

IPCC, Intergovernmental Pannel on Climate Change. AR5 Synthesis Report - Climate Change. 2014. Disponível em: <[http://ar5-syr.ipcc.ch/ipcc/ipcc/resources/pdf/IPCC\\_SynthesisReport.pdf](http://ar5-syr.ipcc.ch/ipcc/ipcc/resources/pdf/IPCC_SynthesisReport.pdf)> (acesso em 24/05/2019)

de JONG, S.; HOEFNAGELS, R.; FAAIJ, A.; SLADE, R.; MAWHOOD, R.; JUNGINGER, M. The feasibility of short-term production strategies for renewable jet fuels – a comprehensive techno-economic comparison. 2015. **Biofuels, Bioproducts & Biorefining**, 9, pp778-800.

SOARES, P. G. **Esquema de redução de emissões da Aviação Civil Internacional (CORSA/ICO): desafios e oportunidades**. In: SOARES, P.; CENAMO, M. C. (org.). São Paulo: IDESAM, 2018.