

Colombo, PR / Maio, 2025

Análise da viabilidade econômica da produção de eucalipto para energia no Distrito Federal e entorno

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura e Pecuária***

ISSN 1517-526X / e-ISSN 1980-3958

Documentos 401

Maio, 2025

**Análise da viabilidade econômica da
produção de eucalipto para energia
no Distrito Federal e entorno**

*José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira
Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Alisson Moura Santos*

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2025

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba
Caixa Postal 319
83411-000 Colombo, PR
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-presidente

José Elidney Pinto Júnior

Secretária-executiva

Elisabete Marques Oaida

Membros

Annete Bonnet

Cristiane Aparecida Fioravante Reis

Elenice Fritzsos

Guilherme Schnell e Schühli

Marilice Cordeiro Garrastazú

Sandra Bos Mikich

Susete do Rocío Chiarello Penteado

Valderês Aparecida de Souza

Edição executiva e revisão de texto

José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica

Francisca Rasche

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Celso Alexandre de Oliveira Eduardo

Foto da capa

Luciane Cristine Jaques

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Moreira, José Mauro Magalhães Ávila Paz

Análise de viabilidade econômica da produção de eucalipto para energia no Distrito Federal e entorno. [recurso eletrônico] / José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira, Cristiane Aparecida Fioravante Reis, Alisson Moura Santos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2025.

PDF (51 p.) : il. color. - (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1517-526X e-ISSN 1980-3958 ; 401)

1. *Eucalyptus urophylla*. 2. *Eucalyptus camaldulensis*. 3. Produtividade florestal. 4. Floresta plantada. 5. Madeira. 6. Viabilidade econômica. I. Título. II. Série.

CDD (21. ed) 634.973766

Francisca Rasche (CRB-9/1204)

© 2025 Embrapa

Autores

José Mauro Magalhães Ávila Paz Moreira

Engenheiro Florestal, doutor em Economia Aplicada, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Cristiane Aparecida Fioravante Reis

Engenheira florestal, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Alisson Moura Santos

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Os autores agradecem à Empresa Ciplan Cimento Planalto S.A., pela cooperação técnica-financeira que possibilitou a execução deste trabalho, bem como a todas as associações, consultores, empresários e produtores que participaram do painel de custo de produção do Distrito Federal e das entrevistas, sem as quais este trabalho não seria possível.

Apresentação

A viabilidade econômica dos sistemas de produção é fundamental para continuidade da atividade e um dos pilares da sustentabilidade. A sua análise não apenas verifica a rentabilidade de uma atividade, mas serve principalmente para orientar os produtores, pesquisadores e formuladores de políticas públicas e setoriais sobre os principais pontos de melhoria e quão sensível é o resultado econômico em relação a cada uma das múltiplas variáveis associadas ao sistema de produção. A busca da sustentabilidade e redução das emissões de carbono de origem fóssil por todos os setores da economia, como forma de contribuir para a mitigação da mudança do clima, tem levado à procura por fontes renováveis de energia, e a biomassa produzida a partir de cultivos florestais tem forte potencial para fornecer energia renovável para diversos setores industriais. O objetivo desta publicação é avaliar a viabilidade econômica de um sistema de produção modal de cultivo de eucalipto para produção de biomassa para energia, na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride), bem como sua sensibilidade às variações no preço da madeira, custo de colheita, produtividade e teor de umidade. A estratégia de aquisição da árvore em pé pela indústria consumidora, com ela sendo responsável pelos custos de colheita e picagem da madeira e transporte do cavaco também foi analisada, tanto a rentabilidade para o produtor florestal como o custo de energia adquirida pela indústria. Este trabalho apresenta aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), em especial aos ODS 7, 8, 11, 12 e 15, por contribuir para o aumento do uso das energias renováveis na indústria, no uso sustentável dos recursos naturais, promover o desenvolvimento regional no entorno do Distrito Federal pelo plantio de florestas de produção energética em áreas

com pastos degradados, aumentando o reflorestamento de eucalipto para energia. A expectativa da equipe responsável pela publicação é que esta possa contribuir para o desenvolvimento florestal da Ride, auxiliando produtores, consumidores e formuladores de políticas públicas e setoriais na definição e implementação de estratégias que possam aumentar a competitividade desta cadeia produtiva.

Marcelo Francia Arco Verde

Chefe-Geral interino da Embrapa Florestas

Sumário

O consumo e a produção de madeira de eucalipto para energia no Distrito Federal	10
Sistema de produção modal (SPM)	11
Sistema de produção modal elaborado	11
Custos silviculturais do sistema de produção	13
Produtividade de madeira	20
Preços do mercado de lenha e cavaco	22
Custos de colheita e de transporte	23
Outros custos incidentes no sistema de produção	24
Estratégia alternativa de aquisição da madeira	24
Indicadores de viabilidade econômica utilizados	25
Análise da viabilidade econômica	27
Análise da sensibilidade do sistema às variações de preço da madeira, produtividade, custo de transporte e teor de umidade	30
Compra da madeira da árvore em pé com colheita e transporte pago pelo consumidor	39
Considerações finais	47
Referências	49

O consumo e a produção de madeira de eucalipto para energia no Distrito Federal

A madeira de eucalipto tem sido consumida no Distrito Federal como importante fonte de matéria-prima energética para geração de energia térmica para secagem de grãos (milho, soja, trigo, dentre outros); nos fornos de indústrias ceramistas e cimenteiras; para geração de vapor d'água em caldeiras esmagadoras de soja, nos frigoríficos, nos laticínios e nas indústrias de alimentos, de bebidas, dentre outras indústrias de transformação.

Entretanto, o Distrito Federal tradicionalmente não ocupa lugar de destaque na produção de eucalipto no cenário nacional, tendo registrado no ano de 2022 uma área de apenas 1.455 ha com plantações de eucalipto (Indústria Brasileira de Árvores, 2023; IBGE, 2023). Em 2023, a área plantada já havia sido reduzida para 688 ha, o que corresponde a 0,009% da área total nacional plantada com eucalipto. Neste mesmo ano, a produção de lenha de eucalipto do Distrito Federal foi apenas 231 m³ (0,0004% da produção nacional) (IBGE, 2023).

Por outro lado, a produção goiana de lenha de eucalipto totalizou 3.165.632 m³ no ano de 2023, o que corresponde a 33,8% do total da madeira de eucalipto para uso energético da região Centro-Oeste e 6,51% da produção nacional (IBGE, 2023). A produção de eucalipto foi registrada em 96 municípios goianos, sendo que 22 destes apresentaram produção superior à média municipal goiana (32.975,33 m³) (IBGE, 2023)

Os dez municípios goianos maiores produtores foram: 1° Rio Verde (387.000 m³), 2° Catalão (300.000 m³), 3° Ipameri (290.000 m³), 4° Campo Alegre de Goiás (280.000 m³), 5° Paraúna (157.000 m³), 6° Niquelândia (147.000 m³), 7° Abadiânia (140.00 m³), 8° Cristalina (130.000 m³), 9° Luziânia (110.000 m³) e 10° Silvânia (69.000 m³), conforme dados apresentados pelo IBGE (2023). Os municípios de Niquelândia, Cristalina e Luziânia fazem parte da região integrada

de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride). Os municípios de São João da Aliança (17º lugar – 43.500 m³) e Planaltina (22º lugar – 34.300 m³) que também fazem parte da Ride apresentaram valores de produção de madeira de eucalipto para lenha acima da média municipal goiana (IBGE, 2023).

Sistema de produção modal (SPM)

Sistema de produção modal elaborado

O sistema de produção modal (SPM) elaborado para a região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride) consiste em um ciclo de produção de eucalipto com duas rotações, a primeira é colhida aos sete anos de idade, sendo conduzida a rebrota dos tocos do eucalipto existentes no talhão para a segunda rotação, que também é colhida aos sete anos de idade, totalizando 14 anos de duração o ciclo de produção completo.

O SPM abrange áreas de declividade média com solos pedregosos, adotando um nível tecnológico elevado para obtenção de maiores produtividades de madeira de eucalipto. Os clones de eucalipto utilizados foram aqueles mais comuns plantados na região, tal como o VM 01 (*Eucalyptus urophylla* x *E. camaldulensis*) e o AEC 144 (também conhecido como I 144 - *Eucalyptus urophylla*), no espaçamento de 2,5 m entre plantas e 3,5 m entre linhas, resultando em uma densidade de 1.143 árvores por hectare. A área do talhão modal considerada para as operações foi 20 hectares.

A produtividade esperada foi 400 m³/ha na primeira rotação e 340 m³/ha na segunda rotação, resultando em um incremento médio anual de volume de madeira (IMA) de 57,14 m³/ha na primeira rotação e 48,57 m³/ha na segunda rotação, o que resulta no IMA médio de 52,86 m³/ha no ciclo de produção. Considerada a conversão do

volume comercial de madeira para metros estéreos (st), o IMA médio para o mesmo ciclo de produção foi 76,00 st/ha ano, 71,35 t/ha ano com 60% de umidade (base úmida) e 40,77 t/ha ano com 30% de umidade (base úmida), que é a umidade esperada para comercialização do cavaco desta madeira. A produtividade anual de energia calculada a partir da tonelada de cavaco com 30% de umidade, na base úmida, para o ciclo de produção modal foi 114,71 Gcal/ha ano.

O SPM elaborado prevê a execução de procedimentos técnico-operacionais comumente adotados para o cultivo de eucalipto na região. Na primeira rotação, considerou-se as seguintes operações: 1) análise de solo, 2) monitoramento e combate às formigas na área, no pré-plantio, 3) dessecação em área total com herbicida, 4) subsolagem com aplicação de adubação de base, 5) tratamento das mudas com cupinicida, fosfato monoamônio (MAP) e plantio das mudas, 6) adubação de arranque (plantio), 7) monitoramento e combate às formigas no pós-plantio, 8) monitoramento e controle de matocompetição com aplicação de herbicida pré-emergente, 9) monitoramento e controle de matocompetição com aplicação de herbicida pós-emergente, 10) adubação de cobertura realizada aos 100 dias e aos 300 dias após o plantio, todas realizadas no primeiro ano (insere-se no Ano 0 do fluxo de caixa). Entre o primeiro e o segundo ano (insere-se no Ano 1 do fluxo de caixa) são executadas as operações de controle de matocompetição com aplicação de herbicida pós-emergente, combate às formigas de manutenção e adubação de cobertura (650 dias após o plantio). Nos anos seguintes, até a colheita, são realizados os monitoramentos e combates às formigas de manutenção.

Na segunda rotação são realizadas as seguintes operações: no primeiro ano é feita a análise de solo, monitoramento e combate às formigas no pós-colheita, operações de condução da rebrota, adubação de cobertura (após primeira desbrota), controle de matocompetição com aplicação de herbicida pós-emergente, monitoramento e manutenção do controle às formigas; no segundo ano realiza-se a adubação de cobertura (300 dias após a rebrota), controle de matocompetição com aplicação de herbicida pós-emergente e o monitoramento e combate às formiga de manutenção. Nos anos seguintes, prossegue-se o combate às formigas de manutenção.

Em todos os anos foi realizada a manutenção de aceiros em volta do talhão como forma de prevenção à ocorrência de incêndios, bem como foram realizados inventários pré-corte nos anos de colheita nas duas rotações, para subsidiar uma melhor negociação por parte do produtor.

Custos silviculturais do sistema de produção

Os custos silviculturais para a condução do SPM são detalhados nas Tabelas 1 a 6. Vale ressaltar que estes custos foram obtidos a partir de um consenso do conjunto de consultores e produtores (pequenos e médios) que estavam presentes no painel de especialistas (oito participantes), cujos valores são referentes à safra 2023/2024. Foi considerado que os custos de contratação de prestação das atividades foram arcados diretamente pelos produtores que, também, compraram os insumos utilizados.

No painel, foram acordadas duas formas de comercialização da madeira, sendo metro estéreo (st) de madeira da árvore em pé situada na propriedade e tonelada de cavaco com 30% de umidade na base úmida entregue ao cliente. No SPM, foi considerada a colheita mecanizada, com uso de *feller buncher* para o corte das árvores, *skidder* para o arraste das árvores cortadas, bem como a realização de picagem da madeira e obtenção dos cavacos no campo. Para o transporte, considerou-se apenas os custos de ida e volta do caminhão, com retorno vazio (sem frete de retorno).

Tabela 1. Custos silviculturais do SPM de madeira de eucalipto na safra 2023/2024, na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride), no ano zero da primeira rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Análise de solo	Coleta e análise	unidade	0,20	98,00	19,60
Combate às formigas na fase de pré-plantio	Formicida granulado à base de sulfiramida	kg	2,00	15,68	31,36
	Mão de obra	diária	0,30	180,00	54,00

Continua...

Continuação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Aplicação de herbicida para dessecação da área de plantio	Água	L	194,00		0,00
	Glifosato	L	6,00	30,00	180,00
	Óleo diesel	L	10,00	6,00	60,00
	Pulverizador de barra de 12 m	horas	0,50		0,00
	Trator 80 cv	horas	0,50	150,00	75,00
Subsolagem com adubação de base	Calcário	t	2,00	200,00	400,00
	Óleo diesel	L	36,50	6,00	219,00
	Subsolador com caixa de adubo e calcário	hora	2,50	50,00	125,00
	Supersimples	kg	350,00	1,70	595,00
	Trator 100 cv com concha	hora	0,15	150,00	22,50
	Trator 140 cv	hora	2,50	200,00	500,00
Tratamento de mudas	Adubo fosfato monoamônico (MAP)	kg	1,00	30,00	30,00
	Água	L	50,00		0,00
	Cupinicida	kg	0,08	750,00	60,00
Plantio	Mão de obra	diária	1,50	180,00	270,00
	Mudas	unidade	1.142,86	1,50	1.714,29
	Óleo diesel	L	7,20	6,00	43,20
	Trator 80 cv com carreta	hora	1,20	150,00	180,00
Adubação de arranque	Mão de obra	diária	1,20	180,00	216,00
	NPK 06-30-10 + Cobre + Zinco + Boro	kg	280,00	2,80	784,00
	Óleo diesel	L	6,00	6,00	36,00
	Trator 80 cv com carreta	hora	1,00	150,00	150,00

Continua...

Continuação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Combate às formigas na fase de pós-plantio	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	1,00	15,68	15,68
	Mão de obra	diária	0,15	180,00	27,00
Controle de matocompetição com herbicida pré-emergente	Água	L	150,00		0,00
	Fordor	kg	0,15	800,00	120,00
	Óleo diesel	L	3,00	6,00	18,00
	Pulverizador de barra de 12 m	hora	0,30		0,00
	Trator 80 cv	hora	0,30	150,00	45,00
Replanteio (20 a 30 dias após plantio)	Mão de obra	diária	0,30	180,00	54,00
	Mudas	unidade	114,29	1,50	171,43
Controle de matocompetição com herbicida pré-emergente	Água	L	150,00		0,00
	Fordor	kg	0,15	800,00	120,00
	Óleo diesel	L	3,00	6,00	18,00
	Pulverizador de barra de 12 m	hora	0,30		0,00
	Trator 80 cv	hora	0,30	150,00	45,00
Controle de matocompetição com herbicida pós-emergente	Água	L	195,00		0,00
	Glifosato	L	5,00	30,00	150,00
	Óleo diesel	L	10,00	6,00	60,00
	Pulverizador barra protegida (conceição)	hora	1,00		0,00
	Trator 80 cv	hora	1,00	150,00	150,00
Adubação de cobertura (100 dias pós-plantio)	Mão de obra	diária	0,40	180,00	72,00
	NPK 20-00-20 com boro	kg	170,00	2,40	408,00
	Óleo diesel	L	2,40	6,00	14,40
	Trator 80 cv	hora	0,40	150,00	60,00

Continua...

Continuação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Adubação de cobertura (300 dias pós plantio)	Mão de obra	diária	0,40	180,00	72,00
	NPK 20-00-20 com boro	kg	250,00	2,40	600,00
	Óleo diesel	L	2,40	6,00	14,40
	Trator 80 cv	hora	0,40	150,00	60,00
Manutenção de aceiros	Óleo diesel	L	0,50	6,00	3,00
	Trator 80 cv com lâmina	hora	0,05	150,00	7,50
Total	-	-	-		8.070,35

Tabela 2. Custos silviculturais do SPM de madeira de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride), no ano um da primeira rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Controle de matocompetição com herbicida pós-emergente	Água	L	195,00		0,00
	Glifosato	L	5,00	30,00	150,00
	Óleo diesel	L	10,00	6,00	60,00
	Pulverizador com barra de proteção (conceição)	hora	1,00		0,00
	Trator 80 cv	hora	1,00	150,00	150,00
Combate às formigas - manutenção	Formicida granulado à base de sulfuramida	kg	1,00	15,68	15,68
	Mão de obra	diária	0,15	180,00	27,00

Continua...

Continuação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Adubação de cobertura (650 dias no pós-plantio)	Distribuidor de adubo a lanço	hora	0,50	180,00	90,00
	KCI com boro	kg	300,00	2,20	660,00
	Óleo diesel	L	3,00	6,00	18,00
	Trator 80 cv	hora	0,50	150,00	75,00
Manutenção dos aceiros	Óleo diesel	L	0,50	6,00	3,00
	Trator 80 cv com lâmina	hora	0,05	150,00	7,50
Total	-	-	-		1.256,18

Tabela 3. Custos silviculturais do SPM de madeira de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride) que se repetem nos anos 2 a 7 da primeira rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Combate às formigas - manutenção	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	1,00	15,68	15,68
	Mão de obra	diária	0,15	180,00	27,00
Manutenção de aceiros	Óleo diesel	L	0,50	6,00	3,00
	Trator 80 cv com lâmina	hora	0,05	150,00	7,50
Total					53,18

Tabela 4. Custos silviculturais do SPM de madeira de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride), no ano zero da segunda rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Análise de solo	Coleta e análise	unidade	0,20	68,00	13,60
Combate às formigas na fase de pós-colheita	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	1,00	15,68	15,68
	Mão de obra	diária	0,15	180,00	27,00
Controle de matocompetição com herbicida pós-emergente	Água	L	195,00		0,00
	Glifosato	L	5,00	30,00	150,00
	Óleo diesel	L	10,00	6,00	60,00
	Pulverizador barra de proteção (conceição)	hora	1,00		0,00
	Trator 80 cv	hora	1,00	150,00	150,00
Condução de rebrota	Mão de obra	diária	4,00	180,00	720,00
Adubação de cobertura na fase de pós 1ª desbrota	Mão de obra	diária	0,40	180,00	72,00
	NPK 20-00-20 com boro	kg	170,00	2,40	408,00
	Óleo diesel	L	2,40	6,00	14,40
	Trator 80 cv	hora	0,40	150,00	60,00
Condução de rebrota	Mão de obra	diária	2,50	180,00	450,00
Combate às formigas - manutenção	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	1,00	15,68	15,68
	Mão de obra	diária	0,15	180,00	27,00
Total	-	-	-		2.183,36

Tabela 5. Custos silviculturais do SPM de madeira de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride), no ano um da segunda rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Combate às formigas - manutenção	Formicida granulado a base de sulfuramida	kg	1,00	15,68	15,68
	Mão de obra	diária	0,15	180,00	27,00
Controle de matocompetição com herbicida pós-emergente	Água	L	195,00		0,00
	Glifosato	L	5,00	30,00	150,00
	Óleo diesel	L	10,00	6,00	60,00
	Pulverizador barra protegida (conceição)	hora	1,00		0,00
	Trator 80 cv	hora	1,00	150,00	150,00
Adubação de cobertura (300 dias após rebrota)	Distribuidor de adubo a lança	hora	0,50	180,00	90,00
	KCl com boro	kg	300,00	2,20	660,00
	Óleo diesel	L	3,00	6,00	18,00
	Trator 80 cv	hora	0,50	150,00	75,00
Manutenção de aceiros	Óleo diesel	L	0,50	6,00	3,00
	Trator 80 cv com lâmina	hora	0,05	150,00	7,50
Total	-	-	-		1.256,18

Tabela 6. Custos silviculturais do SPM de madeira de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride) que se repetem nos anos dois a sete da segunda rotação.

Operação	Fator de produção	Unidade	Quantidade (unidade por hectare)	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$/ha)
Combate às formigas - manutenção	Formicida granulado à base de sulfluramida	kg	1,00	15,68	15,68
	Mão de obra	diária	0,15	180,00	27,00
Manutenção de aceiros	Óleo diesel	L	0,50	6,00	3,00
	Trator 80 cv com lâmina	hora	0,05	150,00	7,50
Total	-	-	-	-	53,18

Produtividade de madeira

A produtividade de madeira de eucalipto estabelecida pelos participantes do painel para o sistema de produção modal foi 400 m³/ha, aos sete anos de idade na primeira rotação (o que equivale ao IMA = 57,14 m³/ha ano) e 340 m³/ha, aos sete anos de idade na segunda rotação (IMA = 48,57 m³/ha ano), totalizando a produção de 740 m³/ha em todo o ciclo de produção (IMA médio de 52,857 m³/ha ano).

Consideradas a conversão de 1,5 st/m³ (definida pelos especialistas no painel) e a simulação de sortimento realizada no software SisEucalipto, com aproveitamento comercial da tora com 8 cm de diâmetro mínimo, são obtidas as seguintes produtividades em metros estéreos: 576,60 st/ha e 487,50 st/ha na primeira e segunda rotação, respectivamente.

A produção de cavaco de madeira em tonelada (Tabela 7) foi calculada com a densidade atual à umidade (DAU) (Brito, 1993), conforme a Equação 1. A densidade básica considerada foi 540 kg/m³ e a umidade meta para comercialização foi 30% na base úmida.

$$DAT_u = \frac{Db * 10.000}{(100 - u) * (100 - Ru)} \quad (1)$$

em que

DAT_u = densidade atual à umidade (kg/m^3).

D_b = densidade básica da madeira (kg/m^3).

u = umidade (%).

R_u = retração volumétrica esperada à umidade u .

Tabela 7. Retração volumétrica esperada da madeira utilizada para elaboração do custo de produção de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride).

Umidade (%)	Retração volumétrica (%)
30	0
25	2
20	4
15	5
10	8
5	11
0	15

Fonte: Brito (1993).

Com uma DAU de $771,428 \text{ kg/m}^3$ (30% de umidade), obteve-se a produtividade de $308,57 \text{ t/ha}$ na primeira rotação e $262,29 \text{ t/ha}$ na segunda rotação.

A produção energética foi calculada de acordo com o trabalho de Brito (1993). Primeiro calculou-se o poder calorífico inferior (PCI) da madeira (Equação 2), para então se calcular o poder calorífico líquido à umidade “u” (PCLu)(Equação 3), que foi utilizado para se calcular o poder calorífico líquido volumétrico à umidade “u” (PCLVu) (Equação 4), a partir do qual foi calculada a produção energética (Y) pela Equação 5.

$$PCI = PCS - 324 \quad (2)$$

em que

PCI = poder calorífico inferior da madeira (kcal/kg).

PCS = poder calorífico superior da madeira (kcal/kg).

$$PCL_u = PCI * \frac{100 - u}{100} - 6 * u \quad (3)$$

em que

PCL_u = poder calorífico líquido à umidade (kcal/kg).

$$PCLV_u = PCL_u * DAT_u \quad (4)$$

em que

$PCLV_u$ = poder calorífico líquido volumétrico à umidade (kcal/m³).

$$Y = P * PCLV_u \quad (5)$$

em que

Y = produção energética (kcal).

P = produção volumétrica (m³).

Apartir da Equação 5, obteve-se a produtividade de 868,07 GCal/ha na primeira rotação e 737,86 GCal/ha na segunda rotação, com um IMA energético médio do ciclo de 114,71 GCal/ha ano, quando efetuada a colheita e processamento de árvores inteiras para produção de cavaco com 30% de umidade base verde.

Com o objetivo de demonstrar o impacto da umidade da madeira na produção total (tonelada em base verde) e na geração de energia líquida, foram calculadas as produtividades nas seguintes percentagens de umidade: 20, 40, 50 e 60%. O impacto da produtividade no resultado produtivo, econômico e energético do SPM foi avaliado simulando quatro cenários adicionais de produtividade, com 90, 80, 70 e 60% da produtividade definida no painel de especialistas.

Preços do mercado de lenha e cavaco

Os preços levantados no painel de custo de produção foram de lenha da árvore em pé, em reais por metro estéreo (R\$ 70,00 por metro estéreo), e por tonelada de cavaco entregue no cliente com 30% de umidade na base úmida (R\$ 400,00 por tonelada). A partir destes foi calculada a rentabilidade do produtor vendendo a madeira da árvore em pé, e calculado o preço do metro cúbico (R\$ 101,00 por metro cúbico) e da tonelada de madeira da árvore em pé com 30% de umidade (R\$ 131,00 por tonelada), e o metro cúbico da tonelada no talhão com 30% de umidade (R\$ 270,00 por tonelada), de forma que a rentabilidade da cultura fosse muito próxima do modal de comercialização com a venda do metro estéreo de madeira da árvore em pé. Para cada cenário de preço, produtividade e forma de comercialização analisado, foi calculado o preço da energia líquida (R\$/GCal) resultante do SPM.

No intuito de observar o impacto do preço da madeira na rentabilidade do SPM, foram calculados cenários com variações do preço modal de 70 a 130%, com variações de 10%.

Custos de colheita e de transporte

O custo de colheita e arraste no sistema *full tree (feller buncher e skidder)* foi R\$ 70,00 por tonelada na colheita de primeira rotação, e R\$ 77,00 por tonelada na colheita de segunda rotação pela menor produtividade e por serem fustes de rebrota. A picagem da madeira em cavaco realizada no campo foi R\$ 45,00 por tonelada em ambas as rotações e o transporte foi estimado em R\$ 75,00 por tonelada para a distância de 150 km, o que foi considerado um valor baixo para esta distância. Entretanto, após a realização do painel, consultando outros prestadores de serviços, foram relatados fretes entre 80 e 90 km para este valor (R\$ 75,00 por tonelada). Assim, decidiu-se manter o valor de frete no modal, mas destacando que este valor pode incluir distâncias de 80 a 120 km, dependendo das condições

de acesso ao ponto de carregamento, escala de produção e contrato com prestadores de serviços.

O impacto do frete na rentabilidade do SPM e no custo da tonelada e giga caloria entregue no cliente foi avaliado mediante variação no custo de transporte, por meio dos seguintes valores de frete R\$ 30,00; R\$ 38,00; R\$ 56,00; R\$ 75,00; R\$ 93,00; R\$ 105,00 e R\$ 120,00 por tonelada.

Outros custos incidentes no sistema de produção

Considerou-se um custo anual de arrendamento da terra de R\$ 1.000,00 por hectare, sendo pago ao final de cada ano (entrada no fluxo de caixa nos anos 1 a 14).

A taxa mínima de atratividade (TMA) considerada para o capital próprio foi 6% ao ano, estando acima da inflação, uma vez que foi elaborado um fluxo de caixa com preços constantes. Para a realização dos cálculos dos indicadores financeiros, foi utilizada uma TMA real.

Nos anos de colheita (7 e 14), houve custos adicionais de roçada mecanizada, com meia hora máquina de um trator de 80 cv, um consumo de 5 litros de óleo diesel, ao custo total de R\$ 105,00 por hectare. Houve também o custo de inventário, realizado no período de pré-corte, de R\$ 4.000,00 para cada talhão e corte, resultando em R\$ 200,00 por hectare nos anos de corte (7 e 14 anos).

Estratégia alternativa de aquisição da madeira

Visando reduzir os impostos pagos pelo produtor e aumentar a viabilidade econômica com um custo de produção mais reduzido, foi simulada a estratégia de negócio onde o consumidor compra a madeira da árvore em pé com determinado preço e contrata a colheita, a picagem e o transporte para a madeira adquirida. O preço calculado foi o mínimo necessário para que o produtor florestal alcançasse diferentes níveis de relação benefício custo (RBC), em cada um dos

níveis de produtividade. Ao referido preço foram somados os custos de colheita, picagem e transporte, e convertido o custo total por unidade de madeira para energia em reais por gigacaloria líquida liberada pela madeira com teor de umidade de 30%.

Indicadores de viabilidade econômica utilizados

Os seguintes indicadores de viabilidade econômica foram utilizados para a análise do SPM e dos cenários alternativos (Rezende; Oliveira, 2001): valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE), taxa interna de retorno (TIR), relação benefício custo (RBC) e custo médio de produção (CMP), os quais são detalhados a seguir.

Valor presente líquido (VPL)

É um dos indicadores de viabilidade econômica mais robustos e fáceis de calcular e interpretar (Kassai et al., 2012; Rezende et al., 2001), sendo viáveis os projetos que apresentem VPL maiores ou iguais a zero.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1 + i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + i)^t} \quad (6)$$

em que

VPL = valor presente líquido (R\$).

t = período de tempo no horizonte de planejamento.

n = duração do horizonte de planejamento.

i = taxa de desconto (neste caso a TMA).

R_t = receita obtida no período t .

C_t = custo despendido no período t .

Valor anual equivalente (*VAE*)

Representa a parcela anual e constante que equivale ao fluxo de caixa do projeto original, resultando no mesmo *VPL*. O projeto é economicamente viável se o *VAE* for maior ou igual a zero.

$$VAE = VPL * \frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1} \quad (7)$$

em que

VAE = valor anual equivalente (R\$/ano).

Taxa interna de retorno (*TIR*)

É a taxa de desconto (juros) que iguala o *VPL* a zero, representa o máximo de remuneração que pode ser alocada ao capital. O projeto é viável se a *TIR* for maior ou igual à *TMA* do capital utilizado no projeto.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1 + TIR)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + TIR)^t} \quad (8)$$

Relação benefício custo (*RBC*)

É dada pela razão entre o valor presente das receitas e o valor presente dos custos, indicando a proporção de retorno no presente para cada real investido no projeto. Uma *RBC* maior ou igual à unidade indica um projeto economicamente viável.

$$RBC = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1 + i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + i)^t}} \quad (9)$$

em que

RBC = relação benefício custo.

Custo médio de produção (*CMP*)

Representa o preço mínimo que deve ser pago pelo produto para que o projeto em questão seja economicamente viável, ou seja, é o preço que iguala o VPL a zero. O projeto é economicamente viável se o *CMP* for menor ou igual ao preço recebido pelo produtor na forma de comercialização analisada no projeto.

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{CMP * Prod_t}{(1 + i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + i)^t} \quad (10)$$

em que

CMP = custo médio de produção (R\$ por unidade).

Prod_t = produção do produto em análise no período *t*.

Análise da viabilidade econômica

O resultado da análise de viabilidade econômica do sistema modal de produção nas formas de comercialização em metro estéreo de madeira da árvore em pé (st - em pé), metro cúbico de madeira da árvore em pé (m³- em pé), tonelada de madeira da árvore em pé com 30% de umidade (t - em pé), tonelada de madeira no carreador (t - no talhão), e tonelada de cavaco entregue no cliente com 30% de umidade (t – no cliente) pode ser observado na Tabela 8.

Nos cenários de preços e custos considerados, todas as formas de comercialização analisadas foram economicamente viáveis. A semelhança entre o VAE e o VPL das formas de comercialização tonelada e metro cúbico de madeira da árvore em pé e tonelada de madeira no talhão com o metro estéreo de madeira da árvore em pé ocorreu em razão da metodologia aplicada, onde os preços obtidos no painel foram para as formas de metro estéreo de madeira da árvore em pé e tonelada de madeira entregue no cliente, e o preço das outras três formas de comercialização foi calculado de modo que o valor do VPL fosse muito semelhante à comercialização do metro estéreo de madeira da árvore em pé.

Tabela 8. Resultado da análise de viabilidade econômica do SPM de madeira de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride).

Viabilidade econômica do sistema de produção modal						
Eucalipto para energia – P7S7 - Região DF e entorno (RIDE)						
	Indicador	st – em pé	m ³ – em pé	t – em pé	t – no talhão	t – no cliente
Remunerando a terra	VAE (R\$/ha ano)	1.470,43	1.481,32	1.483,47	1.463,42	2.651,41
	TIR (% a.a.)	15,57	15,62	15,63	15,69	21,12
	VPL (R\$/ha)	13.667,58	13.768,85	13.788,87	13.602,44	24.644,77
	RBC	1,48	1,49	1,49	1,19	1,24
	CMP (R\$/unid)	42,88	61,70	79,98	219,67	308,81
Não remunerando a terra	VAE (R\$/ha ano)	2.470,43	2.481,32	2.483,47	2.463,42	3.651,41
	VPL (R\$/ha)	22.962,56	23.063,83	23.083,85	22.897,42	33.939,76
	VET (R\$/ha)	41.173,75	41.355,34	41.391,23	41.056,96	60.856,76

P7S7 - regime de manejo com um ciclo de duas rotações, com idades de corte de sete anos na primeira rotação e sete anos na segunda rotação.

A comercialização da madeira da árvore em pé e da madeira no talhão permitiu ao produtor aumentar o seu capital em mais de 22,9 mil reais com valores no presente após a execução de 14 anos de projeto (VPL), o que significa um aumento de capital anual equivalente a 1,46 mil reais, aproximadamente (VAE), com uma taxa interna de retorno esperada de 15% acima da inflação, ao longo do período (TIR), um retorno com valores no presente de R\$ 0,48 para cada R\$ 1,00 investido no projeto (RBC), para as formas de comercialização da madeira da árvore em pé e R\$ 0,19 para cada R\$ 1,00 investido na comercialização da madeira no talhão. O preço mínimo que a madeira poderia ser comercializada para manter o projeto economicamente viável foi R\$ 42,88 por metro estereo, R\$ 61,70 por metro cúbico, R\$ 79,89 por tonelada com 30% de umidade, todos considerando a madeira da árvore em pé, R\$ 219,67 por tonelada com 30% de umidade na madeira na borda do talhão (carreador) e R\$ 308,81 por tonelada com 30% de umidade na madeira entregue

no cliente com R\$ 75,00 por tonelada de frete (CMP). Os modais de produção ainda poderiam pagar um valor anual de arrendamento da terra de R\$ 2.470,00 por hectare ano e ainda serem viáveis nas formas de comercialização da madeira da árvore em pé e no talhão, e de R\$ 3.650,00 por hectare ano na forma de comercialização da madeira entregue no cliente (VAE não remunerando a terra).

Ao avançar no processamento da madeira envolvendo a colheita e o transporte, o produtor aumenta o montante de capital investido no projeto, o trabalho e os impostos que incidem sobre a receita bruta, bem como o custo de capital próprio do projeto, conforme pode ser observado na Figura 1.

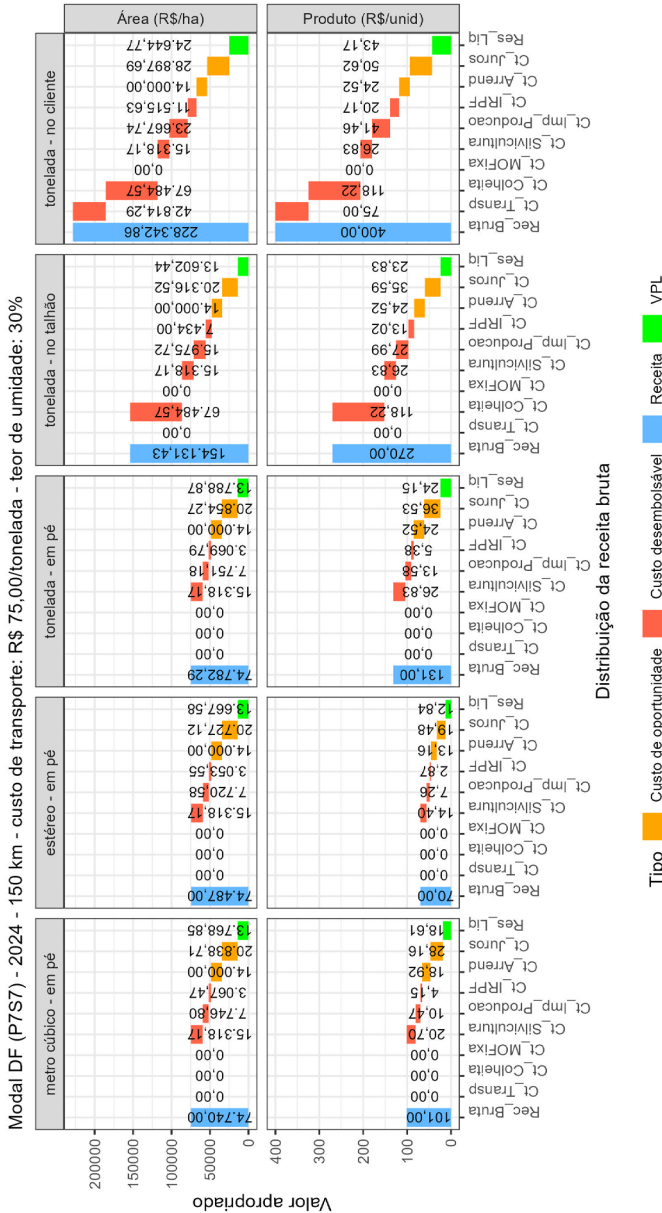


Figura 1. Apropriação da receita bruta pelos centros de custo das formas de comercialização do SPM de madeira de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride).

Legenda: Rec_Bruta - receita bruta, Ct_Transp - custo de transporte, Ct_Colheita - custo de colheita e picagem, ct_MOFixa - custo de mão de obra fixa, ct_Silvicultura - custo com os tratos silviculturais, ct_imp_Producao - custos de impostos incidentes sobre a produção, Ct_IRPF - custo de imposto de renda pessoa física, Ct_Arend - custo de arrendamento da terra, Ct_Juros - custo de juros sobre capital próprio, Res_Liq - resultado líquido do projeto = VPL.

Os custos com os procedimentos técnico-operacionais, insumos e mão de obra no ciclo de produção completo (14 anos) totalizaram aproximadamente R\$ 14,1 mil reais por hectare com preços constantes, sendo R\$ 10 mil reais por hectare na primeira rotação e R\$ 4,1 mil reais por hectare na segunda rotação. Os custos são considerados baixos para um sistema de produção de madeira com uma elevada expectativa de produtividade. No levantamento de custos com produtores rurais publicado em outubro de 2023, o Projeto Campo Futuro da Confederação Nacional da Agricultura (CNA) obteve custos de produção de aproximadamente R\$ 16 mil reais por hectare para a primeira rotação em Curvelo, MG, para uma produtividade esperada de 35 m³/ha ano; enquanto para a região de Catalão/GO, o custo da primeira rotação foi aproximadamente R\$ 19 mil reais por hectare para uma produtividade esperada de 40 m³/ha ano (CNA Senar Campo Futuro, 2023). Uma explicação para essa discrepância pode estar relacionada ao fato de que os custos estimados pelos produtores incluíam a contratação de serviços externos, embora o maquinário utilizado na produção (com exceção feita para as operações de subsolagem e colheita) fosse de propriedade dos próprios produtores. Além disso, os insumos foram adquiridos diretamente pelos produtores e fornecidos aos prestadores de serviço, resultando em um custo de hora máquina menor quando comparado àquele praticado por prestadores externos. Cabe destacar que não houve registro de custos relacionados à contratação de assistência técnica no fluxo de caixa do SPM, o que contribui consideravelmente para o aumento da incerteza em relação à produtividade esperada, fato que não é recomendável pelos presentes autores.

Análise da sensibilidade do sistema às variações de preço da madeira, produtividade, custo de transporte e teor de umidade

O impacto da redução da produtividade foi avaliado com cenários alternativos, conforme apresentado na Figura 2. A produtividade em toneladas e gigacalorias também varia em função da umidade da madeira, sendo que a produtividade de madeira esperada é em torno de 28 t/ha ano, sendo o restante de teor de água contida na madeira, medida em base verde. Ou seja, no IMA de aproximadamente 70 t/ha ano do cenário de obtenção da produção de 100% do estimado pelos integrantes do painel (P100), com 60% de umidade, tem-se 60% das 70 t de água (umidade) e 40% de madeira, que equivale a aproximadamente 28 t/ha ano de madeira seca. No cenário P100, com 30% de umidade, tem-se 30% das 40 t/ha ano de água e 70% de madeira equivalente a aproximadamente 28 t/ha ano de madeira seca. A presença de umidade impacta na quantidade de energia líquida disponibilizada para o sistema, uma vez que parte da energia da combustão da madeira é utilizada para evaporar a água da própria madeira.

Caso a demanda por energia da indústria consumidora seja de 100.000 Gcal/ano, seriam necessários 872 ha com produtividade P100 e umidade da madeira de 30%. Se a produtividade for 30% menor que àquela esperada (P070), com o mesmo valor do teor de umidade, seriam necessários 1.245 ha para atender a demanda. Se a umidade do cavaco entregue ao cliente for 40%, a área necessária aumentaria para 1.291 ha para gerar as mesmas 100.000 Gcal líquidas.

O resultado econômico da atividade é influenciado por todas as variáveis que compõem o fluxo de caixa. Entretanto, algumas variáveis são notadamente conhecidas como mais sensíveis nos projetos de plantações florestais com finalidades energéticas, tais como preço recebido pelo produtor, a produtividade de madeira e o custo de transporte (Moreira et al., 2016, 2017), além da umidade da biomassa quando é direcionada à caldeira (Brito, 1993; Lima et al., 2008),

especialmente se as remunerações ou custos estiverem atrelados à energia líquida disponibilizada para os processos industriais. Esses fatores têm impactos expressivos, inclusive na área de cultivo necessária para atender à demanda energética da indústria, demonstrando a importância de uma gestão eficiente em todas as etapas do projeto florestal.

O comportamento do retorno econômico do sistema de produção modal ao produtor, representado pelo Valor Anual Equivalente (VAE), em diferentes cenários de preço pago por tonelada de madeira com 30% de umidade (e seu respectivo preço por gigacaloria líquida), custos de transporte do cavaco e níveis de produtividade de madeira do plantio podem ser observados na Figura 3, onde verifica-se o impacto do custo de transporte no resultado econômico. O impacto da produtividade de madeira de eucalipto no retorno econômico fica mais evidente ao observar os diferentes cenários de preço recebido pelo produto e custos de transporte do sistema modal de produção (Figura 4).

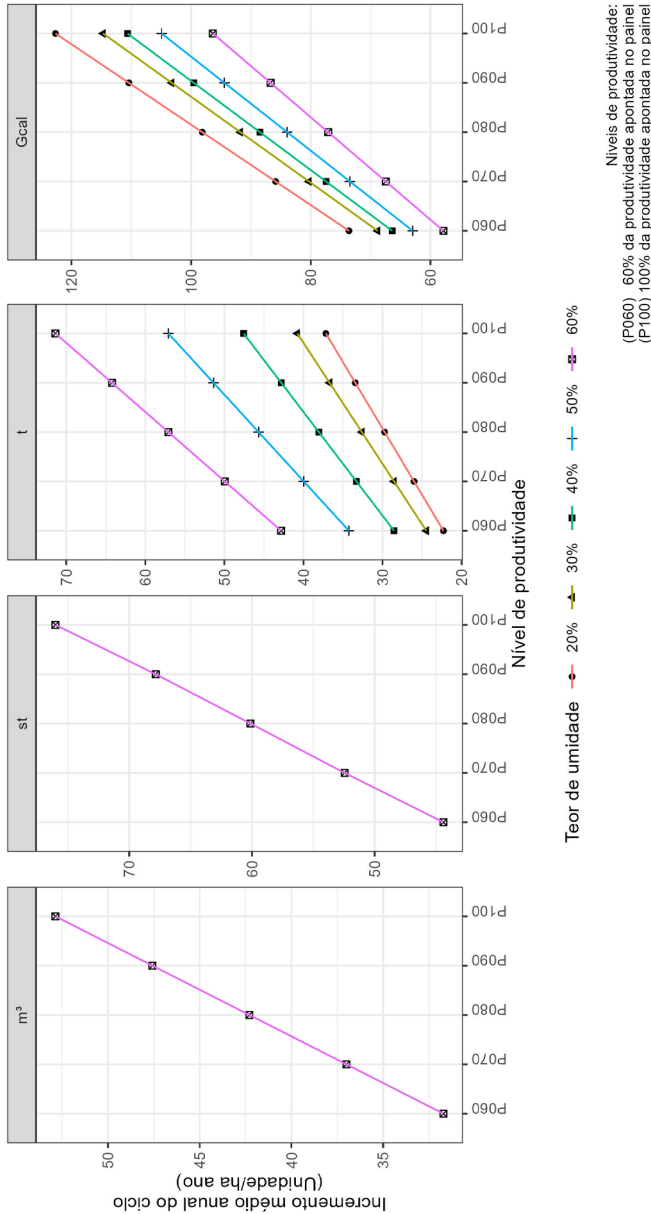


Figura 2. Impacto da redução da produtividade no incremento médio de volume anual de madeira (IMA) do ciclo de produção nos diferentes produtos de comercialização e valores de umidade do sistema de produção modal (SPM) de madeira de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride).

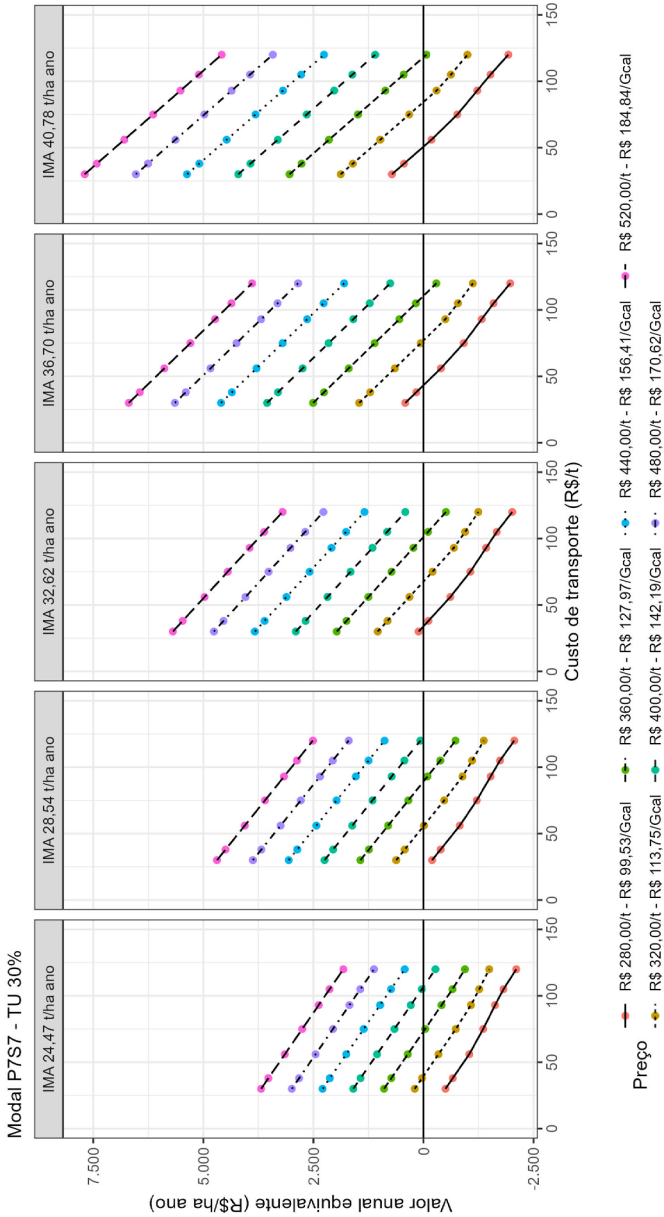
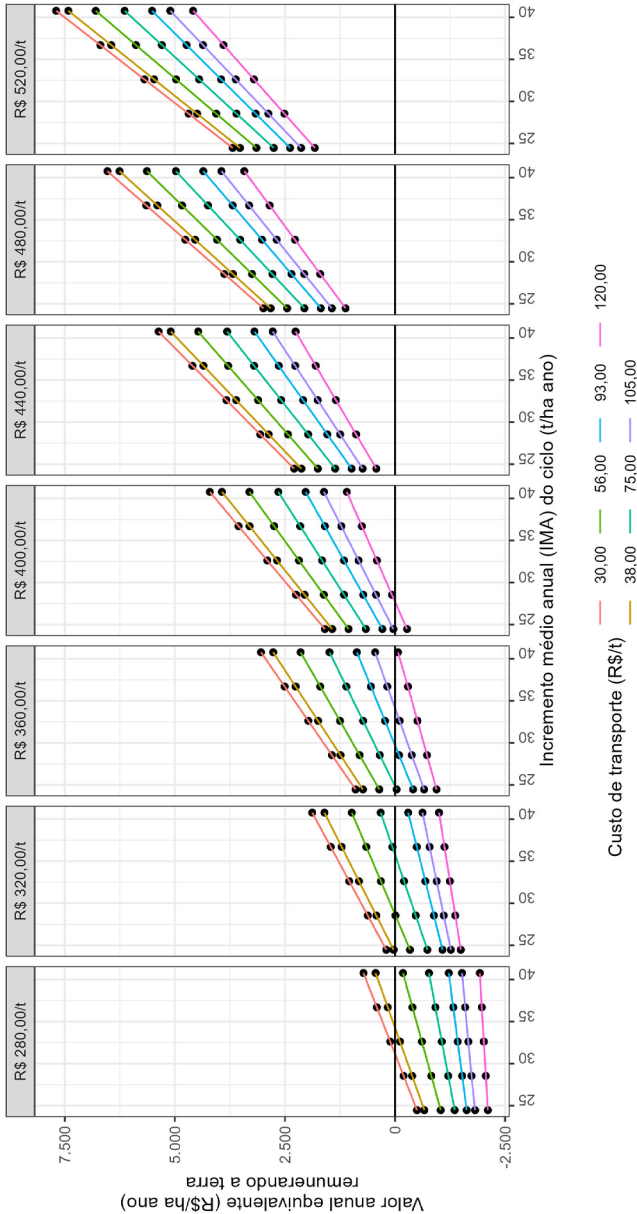


Figura 3. Valor anual equivalente do sistema de produção modal (SPM) em diferentes níveis de produtividade de madeira, preço pago pelo cavaco e custo de transporte do sistema modal de produção de madeira de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride).



Teor de umidade base úmida = 30%

Figura 4. Impacto da produtividade de madeira incremento médio de volume anual de madeira (IMA) no resultado econômico, valor anual equivalente (VAE) em diferentes cenários de preço recebido pelo produto e custos de transporte do sistema de produção modal (SPM) de madeira de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride).

A queda na produtividade de madeira afeta significativamente o retorno econômico, como pode ser visualizado nas Figuras 3 e 4, reduzindo o número de cenários economicamente viáveis. Além disso, o retorno econômico é mais sensível ao aumento dos custos de transporte nos cenários de maior produtividade de madeira, devido à maior inclinação das curvas de isopreços no cenário com IMA de 40,78 t/ha ano que aquele com IMA de 24,47 t/ha ano (Figura 3). A sensibilidade ao custo de transporte também aumenta em cenários de preços mais altos, intensificando a inclinação da curva de resposta e o distanciamento entre as curvas (custo de transporte) com o aumento da produtividade.

É também perceptível o *tradeoff* entre custo, preço e produtividade para se manter a rentabilidade do produtor florestal. Por exemplo, para um VAE entre R\$ 2.400,00 reais por hectare ano e R\$ 2.600,00 reais por hectare ano, foram identificados cinco cenários em que essa rentabilidade pode ser atingida (Tabela 9).

Tabela 9. Cenários com VAE entre R\$ 2.400,00 e R\$ 2.600,00 reais por hectare ano do custo do sistema modal de produção de madeira de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride).

Nível Produtividade*	Custo de transporte (R\$/t)	IMA (t/ha ano)	IMA (Gcal/ha ano)	Preço (R\$/t)	Preço (R\$/Gcal)	VAE (R\$/ha ano)
P060	56,00	24,46	68,82	480,00	170,62	2.450,27
P070	120	28,54	80,30	520	184,84	2.512,12
P070	56	28,54	80,30	440	156,40	2.432,10
P080	75	32,62	91,77	440	156,40	2.586,46
P090	30	36,70	103,24	360	127,97	2.506,61

* Nível de produtividade P100 representa 100% da produtividade meta definida no painel de especialistas; P080 – 80% da produtividade; P070 – 70% da produtividade; P060 – 60% da produtividade meta do painel. IMA - Incremento médio anual. VAE - Valor anual equivalente.

Com uma produtividade de madeira de 28,54 t/ha ano, o produtor alcançaria um retorno econômico equivalente anual entre R\$ 2.400,00

e R\$ 2.600,00 reais por hectare ano, considerando um preço recebido de R\$ 520,00 reais por tonelada e um custo de transporte de R\$ 120,00 reais por tonelada ou, alternativamente, um preço de R\$ 440,00 reais por tonelada com um custo de transporte de R\$ 56,00 reais por tonelada (Tabela 9). Isso evidencia como o retorno econômico é sensível às variações na produtividade e nos custos, sobretudo do preço de venda por tonelada e os custos envolvidos no transporte até o cliente. Pequenas mudanças nesses parâmetros podem impactar de forma determinante na viabilidade do negócio florestal.

O CMP indica o menor preço que o produtor pode receber para que o projeto permaneça economicamente viável. Destaca-se que a viabilidade, neste contexto, significa que o produtor estaria indiferente entre realizar o projeto ou optar por outra alternativa de investimento, alocando seus recursos (terra, trabalho e capital) na melhor opção alternativa. Para que a atividade se mantenha atrativa, é essencial que os produtores remunerem os custos de oportunidade dos seus fatores de produção e ainda possam gerar incremento patrimonial, o que ocorre quando o VPL é positivo. Na Figura 5, observa-se a variação do CMP da energia líquida disponibilizada para o sistema, em função da produtividade, da forma de comercialização, dos custos de transporte e do teor de umidade da madeira.

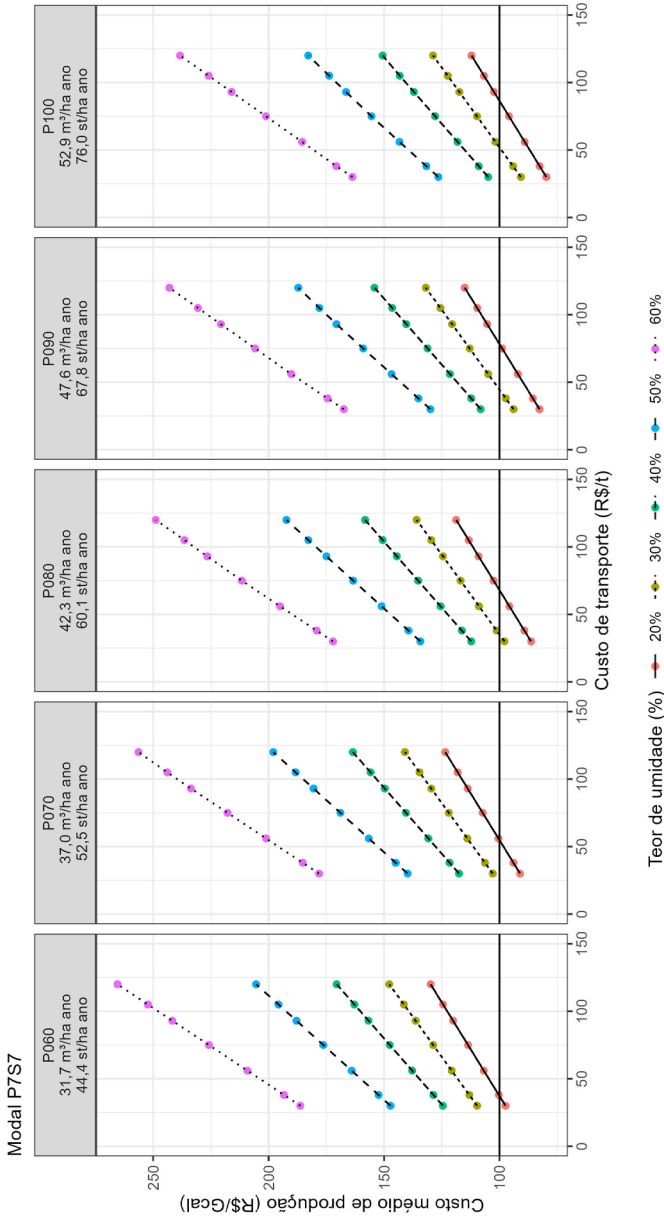


Figura 5. Custo médio de produção da energia líquida nos diferentes cenários de produtividade, custo de transporte e umidade do cavaco do sistema de produção modal (SPM) de madeira de eucalipto na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride).

Considerando os custos do SPM, a umidade do cavaco de 30% entregue no cliente e produtividade equivalente a 70% do cenário modal (37 m³/ha ano), o CMP da energia líquida gerada situou-se entre R\$ 100,00 e R\$ 140,00 reais por gigacaloria, sendo este o valor mínimo necessário para que o projeto se mantenha economicamente viável.

Atualmente, o preço da madeira está elevado, em parte devido à redução da oferta ocasionada pelo longo período de preços baixos entre os anos de 2014 e 2018, o que desestimulou muitos produtores a renovarem suas áreas com o plantio de eucalipto, em razão da frustração com a atividade. Contudo, aqueles produtores que mantiveram seus investimentos e aprimoraram suas práticas estão agora colhendo os benefícios. Neste contexto, é importante a implementação de políticas e estratégias que assegurem a rentabilidade dos produtores, para que sejam mantidas ou até expandidas as áreas com plantações de eucalipto. Políticas e estratégias de negócio, nesse sentido, são importantes para uma oferta mais estável de madeira, o que contribuiria para uma menor oscilação do preço no mercado nacional.

Compra da madeira da árvore em pé com colheita e transporte pago pelo consumidor

À medida que o produtor florestal avança nas etapas de colheita e transporte da madeira, aumenta o custo de produção e o valor pago pelo produto, de forma a remunerar os fatores de produção adicionais, bem como o trabalho e risco do produtor. Entretanto, como os impostos sobre a produção e o imposto de renda de pessoa física (IRPF) são calculados com base na receita bruta, também aumentam os impostos para o produtor, conforme observados dados da Figura 1.

Ao comercializar a tonelada de madeira da árvore em pé, o produtor paga R\$ 7,75 mil reais por hectare de ICMS e Funrural, R\$ 3,07 mil reais por hectare de IRPF, totalizando R\$ 10,82 mil reais por hectare de impostos, o que resulta em R\$ 18,96 reais por tonelada neste modal. Com a execução da colheita por parte do produtor, a receita bruta aumenta (pelo aumento do preço) e, ajustando o preço

da tonelada no talhão (colhida) para o produtor obter o mesmo VPL que, vendendo a madeira da árvore em pé (Figura 1), os impostos aumentam para R\$ 15,97 mil reais por hectare (ICMS e Funrural) e R\$ 7,43 mil reais por hectare (IRPF), totalizando R\$ 24,41 mil reais por hectare de impostos (R\$ 41,01 reais por tonelada), um aumento de aproximadamente 116%.

Uma opção para reduzir o custo final da energia seria o consumidor adquirir a madeira da árvore em pé diretamente do produtor e contratar os serviços de colheita, picagem da madeira e transporte do cavaco. As análises dos diferentes cenários desta estratégia podem ser observadas nas Figuras 6 a 10, considerando que os custos de colheita, picagem e transporte para o consumidor sejam os mesmos pagos pelo produtor.

A Figura 6 apresenta a variação do custo final da energia líquida gerada pelo cavaco com 30% de umidade com o custo de transporte, para diferentes cenários de preço pago ao produtor, por estéreo de madeira da árvore em pé. Os preços foram ajustados de forma que o produtor atingisse um valor meta de Relação Benefício Custo (RBC). No cenário com RBC de 1,30 com uma produtividade média de 76 st/ha ano (P100), o produtor ganha R\$ 0,30 para cada real investido no projeto ao preço de R\$ 57,50 reais por metro estéreo de madeira da árvore em pé. Com um custo de transporte de R\$ 75,00 reais por tonelada, o custo da energia líquida adquirida pelo consumidor ficará em R\$ 106,50 reais por gigacaloria. A mesma situação para uma produtividade de 52,45 st/ha ano (P070) exigiria um preço de R\$ 83,31 reais por metro estéreo, com um custo final de R\$ 123,15 reais por gigacaloria (Figura 8A).

A variação do custo da energia líquida obtida com a variação do preço pago ao produtor pelo estéreo de madeira da árvore em pé para o cenário com produtividade média de 76 st/ha ano (P100) pode ser observada na Figura 9. Cada linha representa um custo de transporte, e cada ponto na linha representa o preço de equilíbrio para uma meta de RBC. O primeiro caso comentado no parágrafo anterior representa o sétimo ponto da linha com o custo de transporte de R\$ 75,00 reais por tonelada, de baixo para cima. O segundo caso é representado pelo sétimo ponto da linha com o custo de transporte de R\$ 75,00 reais por tonelada na Figura 10C.

Considerando o cenário de produtividade P100, para que o produtor receba uma RBC de 1,3422 entregando a madeira no cliente, com um custo de transporte de R\$ 75,00 reais por tonelada, este deveria receber um valor de R\$ 440,00 reais por tonelada, o que resultaria em um custo de energia líquida de R\$ 156,41 reais por gigacaloria para o consumidor. Ao comprar a madeira da árvore em pé no mesmo cenário de produtividade e custo de transporte, de modo que o produtor receba uma RBC de 1,35, o preço pago para a madeira da árvore em pé deve ser R\$ 60,32 reais por metro estéreo e o custo final da energia seria de R\$ 108,67 reais por gigacaloria, representando uma economia de aproximadamente R\$ 47,74 reais por gigacaloria (30,5%).

A importância da produtividade média para que o produtor possa obter uma boa rentabilidade pode ser observada nas Figuras 9 e 10. Além de produtividades mais baixas refletirem em um maior custo de energia líquida para o consumidor, também são necessários aumentos maiores de preços para uma maior rentabilidade do produtor. Na Figura 9 (P100), com custo de transporte de R\$ 75,00 reais por tonelada, para aumentar a RBC de 1,00 para 1,50, o preço pago ao produtor deveria aumentar de R\$ 41,73 reais metro estéreo para R\$ 69,11 metro estéreo, uma variação de R\$ 27,38 reais metro estéreo (65,6%). Na Figura 10 C (P070), com o mesmo custo de transporte, o valor pago ao produtor deveria aumentar de R\$ 60,46 reais metro estéreo para R\$ 100,13 reais metro estéreo, uma variação absoluta de R\$ 39,73 reais metro estéreo (65,7%). Embora a variação proporcional de preço seja a mesma, a variação absoluta é 45% maior para permitir uma mesma RBC.

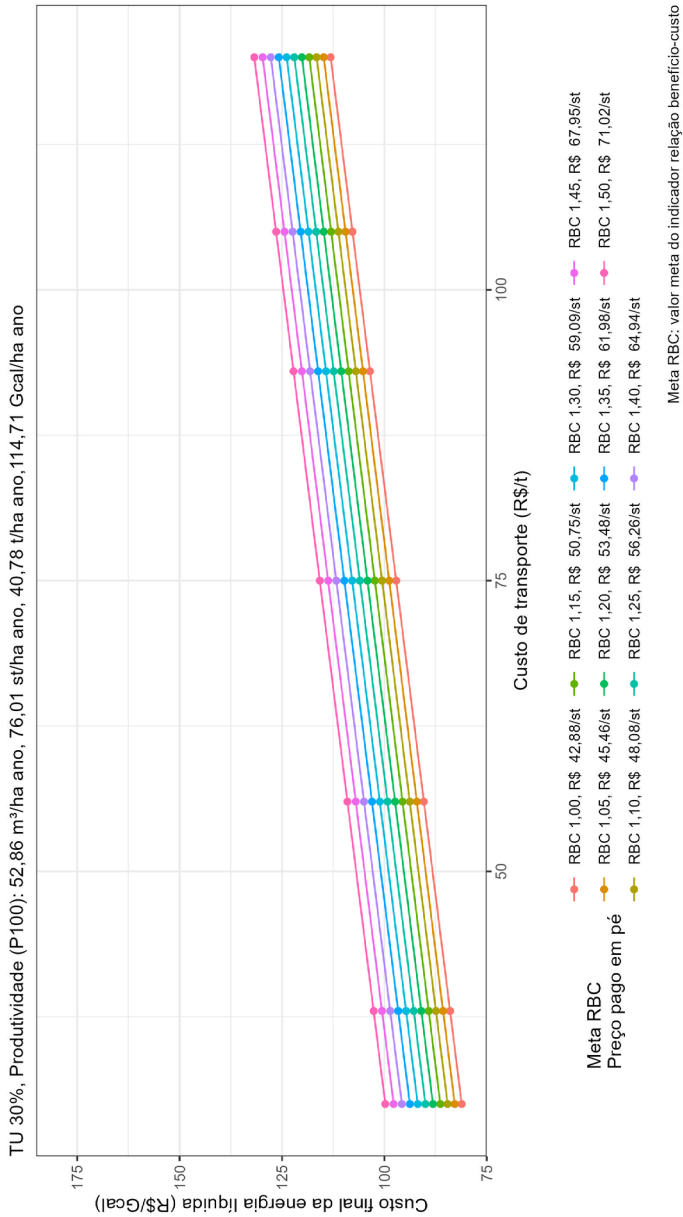


Figura 6. Custo da energia líquida para a madeira comprada da árvore em pé, em relação ao custo de transporte, com colheita e transporte por parte do comprador, no cenário de produtividade P100.

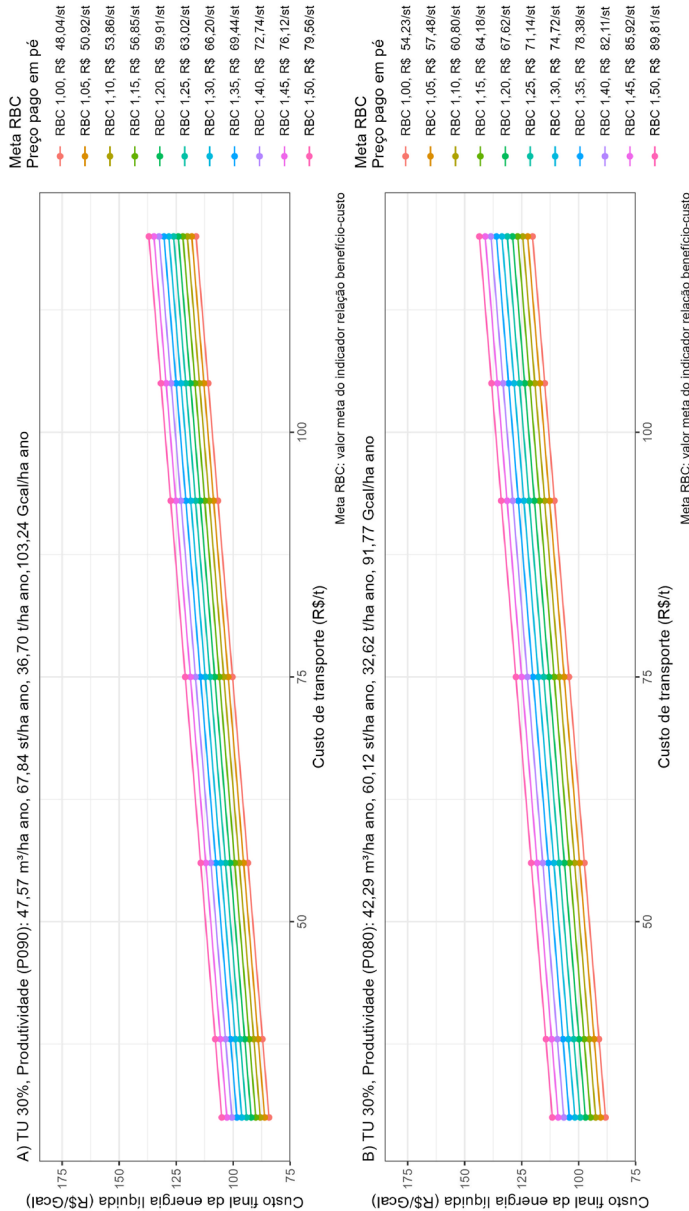


Figura 7. Custo da energia líquida para madeira comprada da árvore em pé, em relação ao custo de transporte, com colheita e transporte por parte do comprador, nos cenários de produtividade. (A) P090: 90% da produtividade e (B) P080: 80% da produtividade.

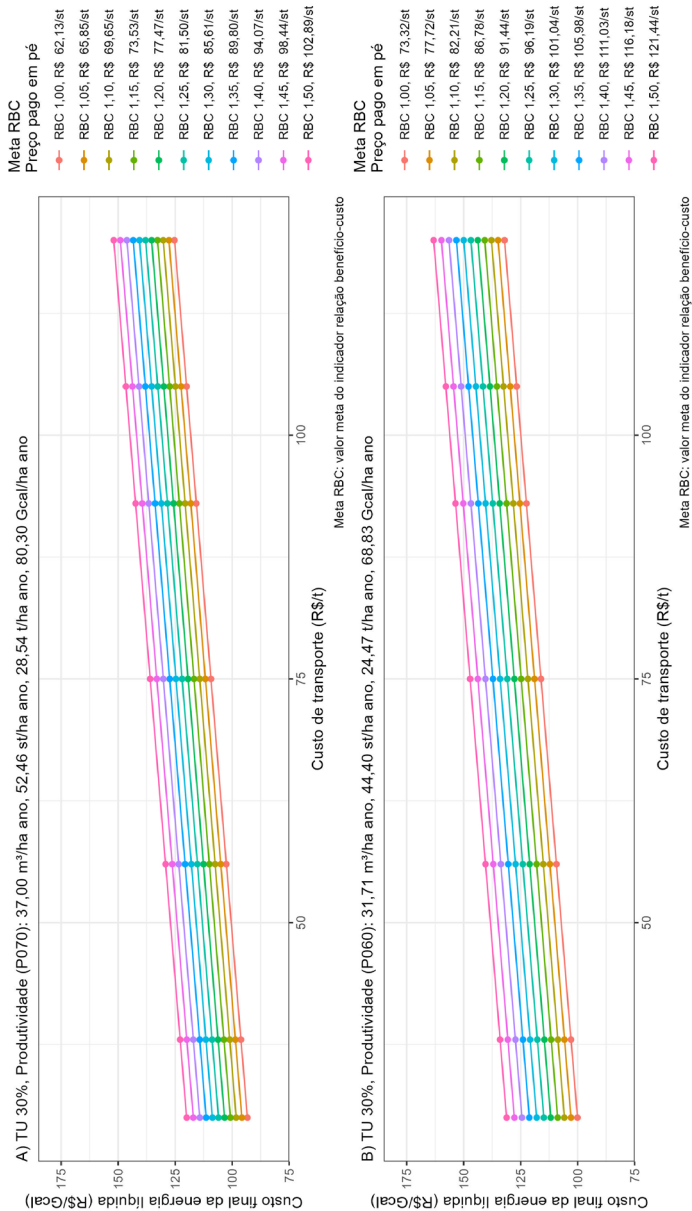


Figura 8. Custo da energia líquida para madeira comprada da árvore em pé, em relação ao custo de transporte, com colheita e transporte por parte do comprador, nos cenários de produtividade P070 (A) e P060 (B).

TU 30%, Produtividade (P100): 52,86 m³/ha ano, 76,01 st/ha ano, 40,78 t/ha ano, 114,71 Gcal/ha ano

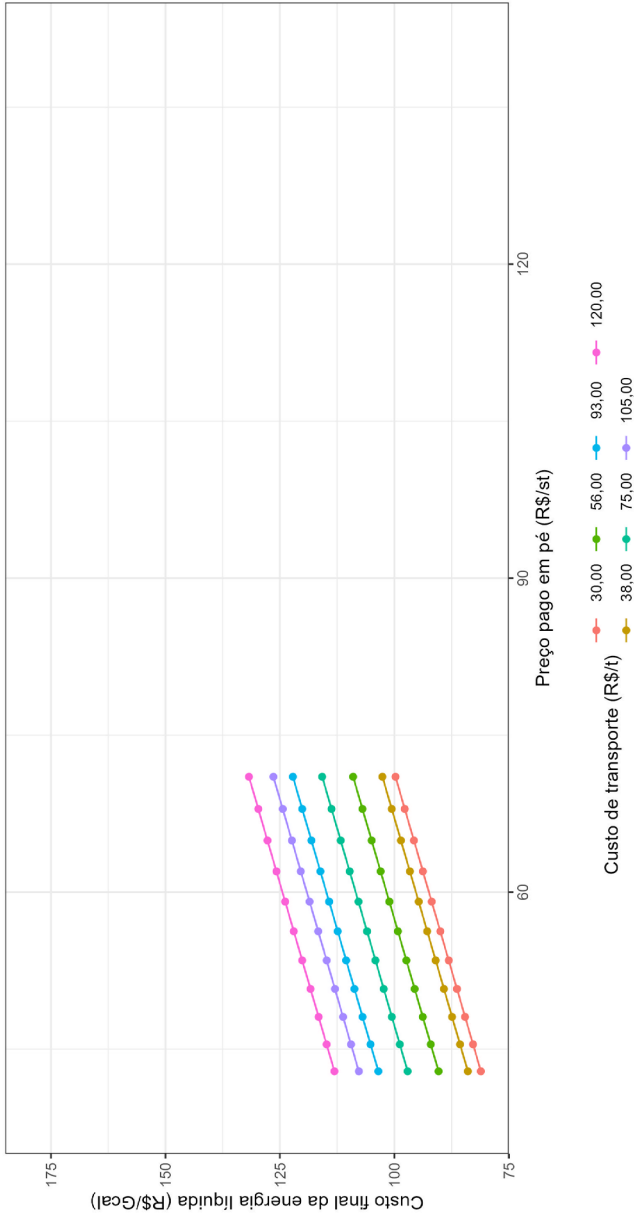


Figura 9. Custo da energia líquida para madeira comprada da árvore em pé, em relação ao preço pago, com coleta e transporte por parte do comprador, no cenário de produtividade P100.

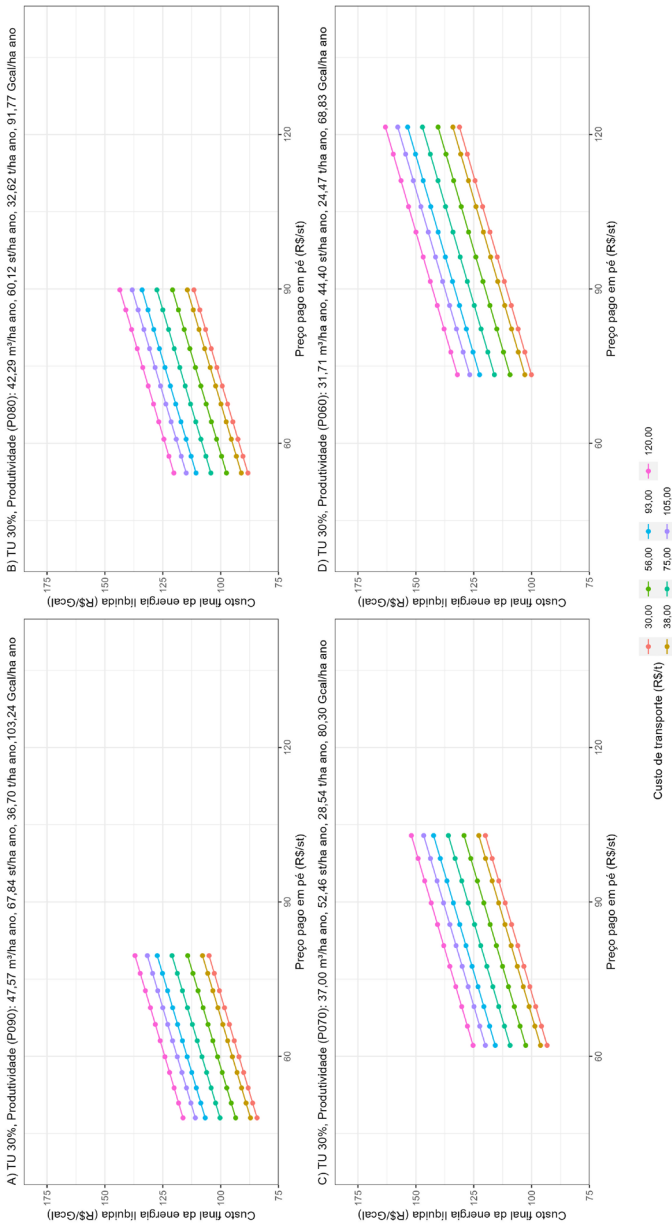


Figura 10. Custo da energia líquida para madeira comprada da árvore em pé, em relação ao preço pago, com colheita e transporte por parte do comprador, nos cenários de produtividade P090 a P060.

Considerações finais

A análise do sistema de produção modal de eucalipto no Distrito Federal, especialmente na região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno (Ride) mostra que, embora o Distrito Federal tenha pequena participação na produção florestal em nível nacional, o potencial produtivo de toda essa região é importante e deve ser considerado, sobretudo naqueles municípios goianos que já possuem um histórico na produção de madeira de eucalipto. O uso de clones adaptados às condições edafoclimáticas, aliado ao uso de procedimentos técnico-operacionais consolidados e eficientes para o cultivo do eucalipto são fundamentais para o alcance de altas produtividades de madeira. e imprescindíveis para a viabilidade do negócio florestal.

No sistema modal de produção avaliado, a venda da madeira da árvore em pé no talhão ou a venda na forma de cavaco entregue no cliente com 30% de umidade apresentou viabilidade econômica, tendo uma taxa interna de retorno de aproximadamente 15% acima da inflação, ao longo dos 14 anos, período adotado no sistema modal de produção. O SPM mostrou-se economicamente viável para o abastecimento industrial em diferentes cenários de custo de produção, preços de venda da madeira e custos de transporte.

É importante destacar que o sucesso econômico dessa atividade está diretamente relacionado com algumas variáveis como o preço de venda da madeira, os custos envolvidos no transporte da madeira, a produtividade alcançada e a umidade da madeira na ocasião da entrega. A umidade do cavaco é um importante fator a ser considerado, pois exerce forte influência na quantidade de energia líquida disponível para os processos industriais (exemplo: caldeiras, secadores, fornos, dentre outros). Desse modo, a madeira com umidade mais adequada deve ser observada e remunerada conforme o seu teor, para que o produtor possa considerá-la em sua estratégia de produção e comercialização.

Nesse aspecto, vale destacar que um fator frequentemente subestimado nas negociações de preço entre os produtores e indústria,

mas crucial para aumentar a eficiência dos processos industriais, é a qualidade da madeira. Características qualitativas como o teor de lignina na madeira, densidade básica, poder calorífico, teor de extrativos, cinzas, além da umidade, são fundamentais para otimizar a eficiência na geração de energia na indústria. Nesse sentido, é essencial o estreito alinhamento das demandas qualitativas da matéria-prima requerida pela indústria e os produtores florestais. Assim, é importante estabelecer não apenas aspectos quantitativos nas negociações de preço da madeira, mas inserir também aspectos qualitativos da madeira, de modo a remunerar melhor os produtores que fornecem madeira de melhor qualidade e, conseqüentemente, promovem uma maior eficiência energética nos processos industriais.

Um outro aspecto importante a ser evidenciado no sistema modal analisado é o baixo custo de produção. Notou-se que os custos envolvidos nas operações silviculturais nessa região foram inferiores, quando comparados com os custos praticados em outras regiões, cujo cultivo do eucalipto é consolidado. Numa análise inicial, essa região se destaca competitivamente em razão dos custos das operações envolvidas. Todavia, vale ressaltar que é uma região que ainda carece de estrutura adequada para os processos que envolvem logística de madeira e alguns serviços importantes no contexto florestal, sobretudo relacionado à mão de obra qualificada, assistência técnica, dentre outros fatores, os quais isoladamente ou em conjunto podem comprometer o alcance da produtividade almejada.

A estratégia de compra da madeira da árvore em pé por parte da indústria consumidora, com esta arcando com os custos de colheita e transporte, pode ser uma estratégia interessante para possibilitar bons ganhos para os produtores e obtenção de energia líquida, com um custo mais competitivo por parte da indústria.

O sistema de produção modal delineado para o Distrito Federal e entorno é economicamente viável, apresentando-se como uma oportunidade para pequenos e médios produtores, desde que a gestão dos fatores apontados neste trabalho seja adequada. Evidentemente, os preços elevados da madeira nos últimos anos, associado ao baixo custo de produção nessa região são fatores que podem impulsionar a

expansão das áreas florestais e garantir uma oferta estável de madeira no curto e médio prazos. Para maximizar esse potencial, sugere-se a implementação de políticas públicas e/ou setoriais que fortaleçam a cadeia produtiva e melhorem a infraestrutura logística, de forma que promovam a expansão da atividade florestal e contínua renovação das áreas de plantio.

Referências

BRITO, J. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Floresta para o desenvolvimento**: política, ambiente, tecnologia e mercado: anais [...]. São Paulo: SBS; [S.L.]: SBEF, 1993. v. 3, p. 280-282.

CNA SENAR CAMPO FUTURO: Silvicultura. Gerenciando os custos de produção na cultura do eucalipto. Brasília, DF: CNA; SENAR, set. 2023. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/publicacoes/gerenciando-os-custos-de-producao-na-cultura-de-eucalipto>. Acesso em: 4 out. 2024.

IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura 2023**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2023>. Acesso em: 7 out. 2024.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Ibá**: 2023: relatório anual. Brasília, DF, 2023. 66 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2024.

KASSAI, J. R.; CASANOVA, S. P. de C.; SANTOS, A. dos; ASSAF NETO, A. **Retorno de investimento**: abordagens matemática e contábil do lucro empresarial. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012. 277 p.

LIMA, E. A. de; ABDALA, E. M.; WENZEL, A. A. **Influência da umidade no poder calorífico superior da madeira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 3 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 220).

MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; SANTANA, L. F. de. Impacto do regime de manejo na rentabilidade da produção de lenha de eucalipto na região de Itapeva-SP, sob condições de risco. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 54., 2016, Maceió. **Desenvolvimento, território e biodiversidade**: anais eletrônicos. [S.l.]: SOBER, 2016. 13 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147976/1/2016-J. Mauro-SOBER-Impacto.pdf>. Acesso em: 09 out 2024.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; SIMIONI, F. J.; SANTANA, L. F. de. Impacto do custo de transporte no risco da rentabilidade florestal na região de Itapeva-SP. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v. 38, n. 132, p. 77-89, 2017.

REZENDE, J. L. P. de; OLIVEIRA, A. D. de. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2001. 389 p.

