

Simulação e avaliação econômica para o primeiro desbaste de *Khaya ivorensis* A. Chev.

Simulation and economic evaluation for the first thinning of *Khaya ivorensis* A. Chev.

Bruno Oliveira Lafetá¹  • Frederico Dias Pascoal¹  • Ivan da Costa Ilhéu Fontan¹ 
 • Caroline Junqueira Sartori¹  • Tamires Mousslech Andrade Penido² 
 • Nívea Fransuelli da Silva Madureira¹  • Diego dos Santos Vieira² 

Recibido: 4/6/2021

Aceptado: 8/11/2021

Abstract

This research aimed to evaluate the economic viability of different scenarios for the first thinning in *Khaya ivorensis* monocultures and present an estimate of age and thinning intensity that provide a higher invested capital return. There were carried out 576 simulations considering different implementation and maintenance costs, ages for first thinning, thinning intensities, and recipes for standing wood sale. The Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) were calculated. The minimum price for standing wood, which all simulations were economically feasible, was 1 638 R\$ m⁻³ for 10 *Khaya ivorensis* thinning intensity, from 819 R\$ m⁻³ to 20 *Khaya ivorensis*, from 546 R\$ m⁻³ for 30 *Khaya ivorensis*, and 410 R\$ m⁻³ for 40 *Khaya ivorensis*. The simulations that maximized the NPV values were those with thinning prediction at five years of age. The percentage planning of thinned volume can be carried out by adopting economic criteria such as NPV and IRR. To obtain a return from the capital invested from the first thinning at five years of age, the percentage estimate from the thinned volume can be obtained according to the standing wood sale price for different minimum rates of attractiveness.

Key words: Scenarios, monoculture, internal rate of return, net present value.

1. Departamento de Engenharia Florestal, Instituto Federal de Minas Gerais; São João Evangelista, Brasil; bruno.lafeta@ifmg.edu.br, fredericodiasp@gmail.com, ivan.fontan@ifmg.edu.br, caroline.sartori@ifmg.edu.br, niveasmadureira@gmail.com

2. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri; Diamantina, Brasil; penidotma@gmail.com

Resumo

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar a viabilidade econômica de diferentes cenários para a realização do primeiro desbaste em monocultivos de *Khaya ivorensis* e apresentar uma estimativa de idade e intensidade de desbaste que proporcionem maior retorno de capital investido. Foram realizadas 576 simulações considerando diferentes custos de implantação e manutenção, idades para primeiro desbaste, intensidades de desbaste e receitas para a venda de madeira em pé. Calcularam-se o Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). O preço mínimo da madeira em pé para o qual todas as simulações foram viáveis economicamente foi de 1 638 R\$ m⁻³ para uma intensidade de desbaste de 10 *Khaya ivorensis*, de 819 R\$ m⁻³ para 20 *Khaya ivorensis*, de 546 R\$ m⁻³ para 30 *Khaya ivorensis* e 410 R\$ m⁻³ para 40 *Khaya ivorensis*. As simulações que maximizaram os valores de VPL foram aquelas com previsão de desbaste aos 5 anos de idade. O planejamento do percentual de volume desbastado pode ser realizado adotando critérios econômicos como o VPL e a TIR. Para que haja retorno do capital investido logo no primeiro desbaste aos 5 anos de idade, a estimativa percentual do volume desbastado pode ser obtida em função do preço de venda da madeira em pé para diferentes taxas mínimas de atratividade.

Palavras-chave: Cenários, monocultivo, taxa interna de retorno, valor presente líquido.

Introdução

A implantação e manejo de povoamentos equiâneos de espécies exóticas são atividades consolidadas em empresas verticalizadas e produtores independentes no Brasil. A introdução de espécies exóticas e o planejamento silvicultural são convencionalmente realizados levantando informações técnicas e econômicas para a análise de viabilidade do projeto florestal.

Khaya ivorensis A. Chev. (Meliaceae), conhecida popularmente por mogno, é uma espécie arbórea originária da África ocidental que se encontra na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas de acordo com a International Union for Conservation of Nature (IUCN) desde 1998 [1]. Mesmo diante de sua vulnerabilidade, é amplamente procurada em mercados nacionais e internacionais de madeira para movelaria, lâminas decorativas, instrumentos musicais, construção de embarcações e fins medicinais [1], [2], [3]. Possui rápido ritmo de crescimento e características fitorremediadoras, com potencial uso em programas para recuperação de áreas degradadas [4]. A madeira é de alto valor comercial

em razão de suas propriedades tecnológicas e estéticas, sendo reportado o preço médio de até US\$ 1 500/m³ pela International Tropical Timber Organization (ITTO) [5].

A silvicultura de *K. ivorensis* surge como alternativa econômica e conservacionista para o suprimento da demanda madeireira mundial, sendo explorada em monocultivos ou como componente arbóreo de sistemas agroflorestais. O interesse brasileiro pela *K. ivorensis* decorre, principalmente, em virtude de sua adequabilidade climática, maior resistência à larva de *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae) e, também, escassez de madeira proveniente do mogno nativo brasileiro (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae). Os maiores maciços de *K. ivorensis* são provenientes de mudas seminais e se concentram nos estados do Goiás, Minas Gerais, Pará e Mato Grosso, ocupando uma área de, aproximadamente, 10 mil hectares (Associação Brasileira dos Produtores de Mogno Africano) [6]. Todavia, apesar da importância comercial, estudos de viabilidade econômica para a sua implantação ainda são incipientes no país. Chama-se a atenção, ainda, para a ocorrência de equívocos na identificação de espécies do gênero *Khaya*, particularmente, entre *K. ivorensis* e *K. grandifoliola* C. Dc.

Plantações de *K. ivorensis* requerem manejo apropriado para a diversificação e otimização da produção de madeira. Dentre as práticas de manejo adotadas para a produção de múltiplos produtos madeireiros, têm-se o desbaste, rotineiramente adotado para a regulação da competição intraespecífica e estímulo do crescimento de árvores remanescentes, visando usos mais nobres e agregação de valor comercial [7], [8].

O conhecimento dos potenciais usos e os respectivos valores mercadológicos é essencial para um adequado planejamento de aplicação do desbaste. A produção de madeira e a lucratividade da silvicultura podem ser influenciadas pela intensidade, tipo (sistemático, seletivo ou misto) e o momento de aplicação do desbaste [8]. Tratam-se de processos complexos, capazes de modificar a estrutura do povoamento, e precisam ser definidos de forma criteriosa. A intensidade de desbaste define o percentual de volume, área e/ou árvores removidas em um povoamento e, o mais relevante, quantitativo remanescente para o estoque de crescimento futuro [8], [9]. Além disso, é importante salientar que a madeira obtida de árvores desbastadas de povoamentos juvenis possui características e dimensões inferiores em relação àquela oriunda de árvores com idades mais avançadas, mais valorizada comercialmente [10].

Os desbastes podem ser agrupados basicamente em duas categorias, pré-comercial e comercial. Na categoria pré-comercial, não é feito o aproveitamento de árvores derrubadas e, portanto, não há geração de

receita e subsídios aos custos operacionais. Enquanto esta categoria tem o propósito exclusivamente técnico, a categoria comercial visa, além do atendimento de prescrições de manejo, receitas com a madeira colhida [11]. As estratégias de manejo diferem entre níveis tecnológicos de empreendimentos florestais, com custos e receitas que se diversificam devido a aspectos técnicos e mercadológicos locais e internacionais. Assim, a definição do momento e da intensidade do primeiro desbaste podem ser fundamentadas em simulações de cenários hipotéticos de custos, maior lucro, amortização de custos ou, simplesmente, ausência de receita.

A análise de viabilidade econômica do primeiro desbaste pode ser uma etapa decisiva para a instalação de empreendimentos florestais. Critérios econômicos são fundamentais para a escolha do melhor projeto e/ou alternativa de manejo a serem adotados [12]. Mediante exposto, os objetivos do presente trabalho foram avaliar a viabilidade econômica de diferentes cenários para realização do primeiro desbaste em monocultivos de *K. ivorensis* e apresentar uma estimativa de idade e intensidade de desbaste que proporcionam maior retorno de capital investido.

Material e métodos

Os dados utilizados neste estudo tiveram como base municípios com clima do tipo Aw segundo o sistema internacional de Köppen [13], com invernos amenos e secos e verões quentes e chuvosos. Maiores extensões territoriais com clima Aw podem ser encontradas nas regiões centro-oeste, sudeste e norte do Brasil [14]. Enfatiza-se que a aptidão para o cultivo de *K. ivorensis* deve considerar um conjunto de aspectos climáticos, edáficos e silviculturais.

Para a realização do fluxo de caixa, levantaram-se os custos envolvidos com a implantação, manutenção (condução) e venda de produtos florestais. As etapas operacionais de implantação e manutenção dos povoamentos se basearam na eucaliptocultura. Os custos de implantação contemplaram o preparo da área (custo do serviço), insumos (adubo, mudas, formicida, herbicida, inseticida, custo da máquina, entre outros) e mão de obra (aplicação de inseticida e herbicida, plantio, replantio, adubação, controle de formiga, entre outros). Os custos de manutenção se relacionaram aos insumos (exceto mudas e plantio/replantio), mão de obra (exceto plantio/replantio) e desrama artificial.

Definiu-se faixas de variação para os custos de instalação e manutenção de povoamentos florestais conforme valores encontrados em literaturas, empresas, pequenos e médios produtores rurais. Esta decisão se pautou na oscilação de custos conforme peculiaridades locais

e particularidades relacionadas ao nível tecnológico produtivo. Simularam-se os custos por hectare de R\$1 000 a R\$5 000 para a implantação (ano 0), de R\$400 a R\$1 300 para o primeiro ano de manutenção (ano 1) e, custos constantes, de R\$40 e R\$160 para os demais anos de manutenção. Para fins organizacionais, os cenários estabelecidos para os custos simulados nos anos 0 (implantação) e 1 (manutenção) foram assim discriminados:

- C1: Implantação de 1 000 R\$ ha⁻¹ e manutenção no primeiro ano de 400 R\$ ha⁻¹.
- C2: Implantação de 1 000 R\$ ha⁻¹ e manutenção no primeiro ano de 700 R\$ ha⁻¹.
- C3: Implantação de 1 000 R\$ ha⁻¹ e manutenção no primeiro ano de 1 000 R\$ ha⁻¹.
- C4: Implantação de 1 000 R\$ ha⁻¹ e manutenção no primeiro ano de 1 300 R\$ ha⁻¹.
- C5: Implantação de 3 000 R\$ ha⁻¹ e manutenção no primeiro ano de 400 R\$ ha⁻¹.
- C6: Implantação de 3 000 R\$ ha⁻¹ e manutenção no primeiro ano de 700 R\$ ha⁻¹.
- C7: Implantação de 3 000 R\$ ha⁻¹ e manutenção no primeiro ano de 1 000 R\$ ha⁻¹.
- C8: Implantação de 3 000 R\$ ha⁻¹ e manutenção no primeiro ano de 1 300 R\$ ha⁻¹.
- C9: Implantação de 5 000 R\$ ha⁻¹ e manutenção no primeiro ano de 400 R\$ ha⁻¹.
- C10: Implantação de 5 000 R\$ ha⁻¹ e manutenção no primeiro ano de 700 R\$ ha⁻¹.
- C11: Implantação de 5 000 R\$ ha⁻¹ e manutenção no primeiro ano de 1 000 R\$ ha⁻¹.
- C12: Implantação de 5 000 R\$ ha⁻¹ e manutenção no primeiro ano de 1 300 R\$ ha⁻¹.

O período de tempo do fluxo de caixa abrangeu desde a implantação silvicultural até a venda da madeira em pé, não sendo contabilizados os custos de aquisição de terras e colheita florestal. A estimativa volumétrica (m³ ha⁻¹) foi calculada utilizando a equação fornecida por [15], para *Khaya ivorensis* plantada em Pirapora – Minas Gerais, sob espaçamento de 4 × 3 metros (833 árvores ha⁻¹). Este município se localiza na Mesoregião Norte de Minas Gerais, com clima do tipo Aw.

$$Volume = 143,6084 e^{-e^{3,2393-0,0897 I}}, r_{Y\hat{Y}} = 0,9931 \quad (1)$$

Tabela 1. Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) para diferentes simulações de custo, considerando uma receita de 100 R\$ m⁻³e intensidade para o primeiro desbaste de 20 *Khaya ivorensis* para o cultivo de *K. ivorensis*.

Table 1. Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) for different cost simulations, considering 100 R\$ m⁻³ revenue and intensity of 20 *Khaya ivorensis* for the first thinning for *K. ivorensis* cultivation.

Cenário	Custo de manutenção anual a partir de 2 anos (R\$)							
	160		40		160		40	
	VPL (R\$)				TIR (%)			
	----- 3 Anos -----				----- 4 Anos -----			
C1	-830,25	-640,92	-20,37	-12,67	-335,02	-63,73	2,65	8,63
C2	-1 102,98	-913,64	-26,75	-19,55	-607,75	-336,46	-2,26	3,32
C3	-1 375,70	-1 186,37	-31,99	-25,26	-880,48	-609,18	-6,43	-1,20
C4	-1 648,43	-1 459,10	-36,36	-30,06	-1 153,20	-881,91	-10,03	-5,11
C5	-2 830,25	-2 640,92	-40,05	-35,30	-2 335,02	-2 063,73	-17,25	-13,58
C6	-3 102,98	-2 913,64	-42,70	-38,07	-2 607,75	-2 336,46	-19,28	-15,71
C7	-3 375,70	-3 186,37	-45,09	-40,59	-2 880,48	-2 609,18	-21,15	-17,68
C8	-3 648,43	-3 459,10	-47,26	-42,88	-3 153,20	-2 881,91	-22,89	-19,51
C9	-4 830,25	-4 640,92	-48,18	-44,39	-4 335,02	-4 063,73	-25,91	-22,99
C10	-5 102,98	-4 913,64	-49,87	-46,14	-4 607,75	-4 336,46	-27,20	-24,33
C11	-5 375,70	-5 186,37	-51,44	-47,77	-4 880,48	-4 609,18	-28,42	-25,60
C12	-5 648,43	-5 459,10	-52,91	-49,30	-5 153,20	-4 881,91	-29,58	-26,81
	----- 5 Anos -----				----- 6 Anos -----			
C1	-238,77	107,04	6,12	11,72	-357,32	56,22	5,21	10,75
C2	-511,49	-165,69	2,35	7,55	-630,04	-216,50	2,23	7,35
C3	-784,22	-438,42	-0,87	3,98	-902,77	-489,23	-0,32	4,44
C4	-1 056,95	-711,14	-3,67	0,89	-1 175,50	-761,96	-2,55	1,93
C5	-2 238,77	-1 892,96	-10,25	-6,81	-2 357,32	-1 943,78	-8,03	-4,60
C6	-2 511,49	-2 165,69	-11,85	-8,51	-2 630,04	-2 216,50	-9,33	-6,01
C7	-2 784,22	-2 438,42	-13,33	-10,08	-2 902,77	-2 489,23	-10,54	-7,31
C8	-3 056,95	-2 711,14	-14,71	-11,55	-3 175,50	-2 761,96	-11,66	-8,52
C9	-4 238,77	-3 892,96	-17,75	-15,00	-4 357,32	-3 943,78	-14,35	-11,61
C10	-4 511,49	-4 165,69	-18,77	-16,08	-4 630,04	-4 216,50	-15,19	-12,50
C11	-4 784,22	-4 438,42	-19,74	-17,09	-4 902,77	-4 489,23	-15,98	-13,34
C12	-5 056,95	-4 711,14	-20,66	-18,06	-5 175,50	-4 761,96	-16,74	-14,15

Em que: I = idade (meses) e $r_{(yy)}$ = coeficiente de correlação de Pearson.

O primeiro desbaste foi simulado para as idades de 3, 4, 5, e 6 anos, considerando as intensidades de remoção volumétrica de 20 *Khaya ivorensis* (667 árvores remanescentes) e 30 *Khaya ivorensis* (583 árvores remanescentes). Os fluxos de caixa foram desenvolvidos com horizonte de planejamento limitado até a realização do primeiro desbaste. O preço de venda do material lenhoso foi simulado em 100 R\$ m⁻³, 500 R\$ m⁻³ e 1 000 R\$ m⁻³, pois o preço de venda dos produtos florestais está sujeito a flutuações de mercado.

A análise de viabilidade econômica foi realizada a partir do cálculo de Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), para uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 10 *Khaya ivorensis* ao ano. A simulação/projeto foi considerada viável economicamente quando foram satisfeitas simultaneamente as duas condições: diferença positiva entre valor presente das receitas e valor presente dos custos (VPL > 0) e TIR maior que a taxa de desconto correspondente à taxa de remuneração alternativa do capital (TIR > TMA).

A análise de sensibilidade foi efetuada com a simulação de cenários complementares da intensidade de desbaste,

Tabela 2. Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) para diferentes simulações de custo, considerando uma receita de 100 R\$ m⁻³e intensidade para o primeiro desbaste de 30 *Khaya ivorensis* para o cultivo de *K. ivorensis*.**Table 2.** Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) for different cost simulations, considering 100 R\$ m⁻³ revenue and intensity of 30 *Khaya ivorensis* for the first thinning for *K. ivorensis* cultivation.

Cenário	Custo de manutenção anual a partir de 2 anos (R\$)							
	160		40		160		40	
	VPL (R\$)		TIR (%)		VPL (R\$)		TIR (%)	
	----- 3 Anos -----				----- 4 Anos -----			
C1	-437,33	-248,00	-3,95	2,27	360,15	631,44	16,68	21,60
C2	-710,06	-520,73	-10,81	-4,96	87,42	358,71	11,50	16,11
C3	-982,79	-793,46	-16,60	-11,09	-185,31	85,98	7,04	11,36
C4	-1 255,51	-1 066,18	-21,54	-16,34	-458,04	-186,74	3,14	7,23
C5	-2 437,33	-2 248,00	-28,62	-24,85	-1 639,85	-1 368,56	-6,64	-3,70
C6	-2 710,06	-2 520,73	-31,38	-27,70	-1 912,58	-1 641,29	-8,73	-5,86
C7	-2 982,79	-2 793,46	-33,90	-30,31	-2 185,31	-1 914,02	-10,67	-7,88
C8	-3 255,51	-3 066,18	-36,23	-32,72	-2 458,04	-2 186,74	-12,49	-9,76
C9	-4 437,33	-4 248,00	-38,56	-35,57	-3 639,85	-3 368,56	-16,62	-14,29
C10	-4 710,06	-4 520,73	-40,30	-37,36	-3 912,58	-3 641,29	-17,94	-15,65
C11	-4 982,79	-4 793,46	-41,93	-39,04	-4 185,31	-3 914,02	-19,19	-16,94
C12	-5 255,51	-5 066,18	-43,47	-40,62	-4 458,04	-4 186,74	-20,39	-18,17
	----- 5 Anos -----				----- 6 Anos -----			
C1	554,21	900,01	17,50	22,15	421,54	835,08	14,68	19,28
C2	281,48	627,28	13,53	17,85	148,81	562,35	11,53	15,78
C3	8,75	354,55	10,10	14,14	-123,92	289,62	8,81	12,77
C4	-263,98	81,83	7,10	10,90	-396,64	16,90	6,44	10,15
C5	-1 445,79	-1 099,99	-1,22	1,56	-1 578,46	-1 164,92	-0,28	2,49
C6	-1 718,52	-1 372,72	-2,86	-0,16	-1 851,19	-1 437,65	-1,62	1,07
C7	-1 991,25	-1 645,45	-4,39	-1,77	-2 123,92	-1 710,38	-2,87	-0,26
C8	-2 263,98	-1 918,17	-5,82	-3,27	-2 396,64	-1 983,10	-4,03	-1,50
C9	-3 445,79	-3 099,99	-9,64	-7,45	-3 578,46	-3 164,92	-7,29	-5,11
C10	-3 718,52	-3 372,72	-10,69	-8,54	-3 851,19	-3 437,65	-8,15	-6,00
C11	-3 991,25	-3 645,45	-11,68	-9,57	-4 123,92	-3 710,38	-8,97	-6,86
C12	-4 263,98	-3 918,17	-12,63	-10,55	-4 396,64	-3 983,10	-9,75	-7,68

custos de implantação, custos de manutenção, TMA e receitas com a venda de madeira em pé. Optou-se por esta análise complementar em virtude das incertezas inerentes à produção e comercialização florestal.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software Excel®.

Resultados

A análise de três prováveis valores de custos para a implantação, quatro valores de custo para o primeiro

ano de manutenção, dois valores de custo contínuo para os demais anos de manutenção, quatro idades para a realização do primeiro desbaste, duas intensidades de desbaste e três valores de receitas para a venda de madeira em pé totalizaram 576 simulações.

O VPL e a TIR de cada simulação com intensidade de desbaste de 20 e 30 *Khaya ivorensis* do volume, com previsão de receita de 100 R\$ m⁻³, se encontram nas Tabelas 1 e 2. Para essa receita, o primeiro desbaste não foi viável economicamente aos 3 anos de idade (VPL ≤ 0 e TIR ≤ TMA). Encontrou-se viabilidade econômica na simulação de menor custo (Cenário C1 + demais custos anuais de manutenção de 40 R\$ ha⁻¹) com remoção de 20

Tabela 3. Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) para diferentes simulações de custo, considerando uma receita de 500 R\$ m⁻³ e intensidade para o primeiro desbaste de 20 *Khaya ivorensis* para o cultivo de *K. ivorensis*.

Table 3. Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) for different cost simulations, considering 500 R\$ m⁻³ revenue and intensity of 20 *Khaya ivorensis* for the first thinning for *K. ivorensis* cultivation.

Cenário	Custo de manutenção anual a partir de 2 anos (R\$)							
	160		40		160		40	
	VPL (R\$)				TIR (%)			
	----- 3 Anos -----				----- 4 Anos -----			
C1	2 313,07	2 502,40	56,58	60,06	5 226,33	5 497,62	65,50	68,42
C2	2 040,35	2 229,68	48,65	52,00	4 953,60	5 224,89	59,69	62,46
C3	1 767,62	1 956,95	41,59	44,79	4 680,87	4 952,16	54,51	57,13
C4	1 494,89	1 684,22	35,26	38,33	4 408,14	4 679,44	49,86	52,35
C5	313,07	502,40	13,39	15,40	3 226,33	3 497,62	30,32	31,96
C6	40,35	229,68	10,43	12,40	2 953,60	3 224,89	28,10	29,71
C7	-232,38	-43,05	7,62	9,56	2 680,87	2 952,16	26,00	27,57
C8	-505,11	-315,78	4,97	6,87	2 408,14	2 679,44	24,01	25,54
C9	-1 686,93	-1 497,60	-3,17	-1,61	1 226,33	1 497,62	15,82	17,08
C10	-1 959,65	-1 770,32	-5,01	-3,46	953,60	1 224,89	14,44	15,68
C11	-2 232,38	-2 043,05	-6,77	-5,24	680,87	952,16	13,11	14,34
C12	-2 505,11	-2 315,78	-8,47	-6,96	408,14	679,44	11,83	13,04
	----- 5 Anos -----				----- 6 Anos -----			
C1	6 105,00	6 450,81	55,35	58,19	5 873,51	6 287,05	45,03	47,89
C2	5 832,28	6 178,08	50,90	53,56	5 600,79	6 014,33	41,50	44,14
C3	5 559,55	5 905,35	46,97	49,46	5 328,06	5 741,60	38,39	40,85
C4	5 286,82	5 632,62	43,45	45,80	5 055,33	5 468,87	35,62	37,93
C5	4 105,00	4 450,81	28,94	30,51	3 873,51	4 287,05	24,71	26,30
C6	3 832,28	4 178,08	27,19	28,73	3 600,79	4 014,33	23,29	24,83
C7	3 559,55	3 905,35	25,55	27,04	3 328,06	3 741,60	21,94	23,44
C8	3 286,82	3 632,62	23,99	25,45	3 055,33	3 468,87	20,67	22,13
C9	2 105,00	2 450,81	17,46	18,67	1 873,51	2 287,05	15,52	16,73
C10	1 832,28	2 178,08	16,37	17,56	1 600,79	2 014,33	14,63	15,81
C11	1 559,55	1 905,35	15,32	16,49	1 328,06	1 741,60	13,76	14,93
C12	1 286,82	1 632,62	14,31	15,46	1 055,33	1 468,87	12,94	14,08

Khaya ivorensis do volume aos 5 e 6 anos de idade. As simulações dos cenários C1 e C2 desbastando 30 *Khaya ivorensis* do volume foram viáveis somente a partir do quarto ano. Para que todas as simulações sejam viáveis com tal receita prevista, as intensidades de desbaste devem ser de 95, 84 e 86 *Khaya ivorensis* aos 4, 5 e 6 anos de idade, respectivamente.

Para o preço de venda da madeira em pé de 500 R\$ m⁻³, o primeiro desbaste foi viável (VPL > 0 e TIR > TMA) em todas as simulações feitas de 4 a 6 anos com 20 e 30 *Khaya ivorensis* de volume removido (Tabelas 3 e 4). Contudo, observou-se inviabilidade nas ocasiões cujo o custo de implantação foi de 5 000 R\$ m⁻³ (C9, C10, C11

e C12) com posterior remoção de 20 *Khaya ivorensis* do volume aos 3 anos; além dos respectivos cenários C7 e C8, que possuem custo de implantação de 3 000 R\$ m⁻³. Essas simulações com o custo de implantação de R\$5 000 foram inviáveis mesmo com todos os custos de manutenção anulados.

O custo máximo de implantação para que haja viabilidade em todas simulações de 20 *Khaya ivorensis* de volume desbastado aos 3 anos e receita de 500 R\$ m⁻³ foi de 2 494 R\$ ha⁻¹. No que se refere ao desbaste de 30 *Khaya ivorensis* aos 3 anos, a viabilidade de projetos com valores de implantação de 5 000 R\$ ha⁻¹ foi condicionada a custos de máximos de manutenção no primeiro ano

Tabela 4. Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) para diferentes simulações de custo, considerando uma receita de 500 R\$ m⁻³ e intensidade para o primeiro desbaste de 30 *Khaya ivorensis* para o cultivo de *K. ivorensis*.

Table 4. Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) for different cost simulations, considering 500 R\$ m⁻³ revenue and intensity of 30 *Khaya ivorensis* for the first thinning for *K. ivorensis* cultivation.

Cenário	Custo de manutenção anual a partir de 2 anos (R\$)							
	160		40		160		40	
	VPL (R\$)				TIR (%)			
	----- 3 Anos -----				----- 4 Anos -----			
C1	4 277,65	4 466,98	82,34	85,25	8 702,17	8 973,46	85,06	87,55
C2	4 004,92	4 194,25	74,16	76,96	8 429,44	8 700,74	79,09	81,45
C3	3 732,19	3 921,52	66,76	69,45	8 156,72	8 428,01	73,71	75,95
C4	3 459,47	3 648,80	60,04	62,63	7 883,99	8 155,28	68,83	70,97
C5	2 277,65	2 466,98	31,27	32,92	6 702,17	6 973,46	45,14	46,51
C6	2 004,92	2 194,25	28,25	29,87	6 429,44	6 700,74	42,90	44,24
C7	1 732,19	1 921,52	25,37	26,97	6 156,72	6 428,01	40,76	42,07
C8	1 459,47	1 648,80	22,64	24,21	5 883,99	6 155,28	38,71	40,00
C9	277,65	466,98	11,89	13,17	4 702,17	4 973,46	28,84	29,89
C10	4,92	194,25	10,03	11,30	4 429,44	4 700,74	27,45	28,48
C11	-267,81	-78,48	8,24	9,49	4 156,72	4 428,01	26,11	27,12
C12	-540,53	-351,20	6,50	7,74	3 883,99	4 155,28	24,80	25,81
	----- 5 Anos -----				----- 6 Anos -----			
C1	10 069,86	10 415,66	69,88	72,33	9 767,78	10 181,32	56,33	58,80
C2	9 797,13	10 142,93	65,31	67,60	9 495,05	9 908,59	52,69	54,99
C3	9 524,40	9 870,21	61,23	63,39	9 222,33	9 635,87	49,46	51,61
C4	9 251,68	9 597,48	57,56	59,60	8 949,60	9 363,14	46,58	48,59
C5	8 069,86	8 415,66	40,54	41,87	7 767,78	8 181,32	34,04	35,39
C6	7 797,13	8 142,93	38,78	40,07	7 495,05	7 908,59	32,60	33,90
C7	7 524,40	7 870,21	37,10	38,36	7 222,33	7 635,87	31,23	32,50
C8	7 251,68	7 597,48	35,50	36,74	6 949,60	7 363,14	29,93	31,17
C9	6 069,86	6 415,66	27,92	28,92	5 767,78	6 181,32	24,06	25,08
C10	5 797,13	6 142,93	26,82	27,80	5 495,05	5 908,59	23,16	24,15
C11	5 524,40	5 870,21	25,75	26,72	5 222,33	5 635,87	22,28	23,26
C12	5 251,68	5 597,48	24,72	25,68	4 949,60	5 363,14	21,44	22,40

de 813 R\$ ha⁻¹ e 605 R\$ ha⁻¹ desde que os custos de manutenção nos demais anos sejam constantes de R\$40 e R\$160, respectivamente.

O preço de venda da madeira em pé de 1 000 R\$ m⁻³ viabilizou economicamente todas as simulações de 3 a 6 anos, assumindo 20 e 30 *Khaya ivorensis* de desbaste (Tabelas 5 e 6). Para esse preço de venda, o percentual mínimo de volume desbastado para que, ainda, haja viabilidade foi de 17, 19, 17 e 18 *Khaya ivorensis* aos 3, 4, 5 e 6 anos, respectivamente. Estabelecendo um valor de R\$1 000 para venda de madeira em pé aos 6 anos no cenário de maior custo (Cenário C12 + demais custos

anuais de manutenção de 60 R\$ ha⁻¹), tem-se um VPL de R\$ 8 843,87 (TIR = 27,79 *Khaya ivorensis*) e de R\$ 16 632,40 (TIR = 37,24 *Khaya ivorensis*) para 20 e 30 *Khaya ivorensis* de volume desbastado, respectivamente.

Em termos gerais, o preço mínimo da madeira em pé aos 3 anos para que todas as simulações sejam viáveis economicamente foi de 1 638 R\$ m⁻³ para uma intensidade de desbaste de 10 *Khaya ivorensis*, de 819 R\$ m⁻³ para 20 *Khaya ivorensis*, de 546 R\$ m⁻³ para 30 *Khaya ivorensis* e 410 R\$ m⁻³ para 40 *Khaya ivorensis*. A viabilidade a partir de 4 anos, pode ser alcançada com receitas mínimas de 942 R\$ m⁻³ para remoção de

Tabela 5. Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) para diferentes simulações de custo, considerando uma receita de 1 000 R\$ m⁻³ e intensidade para o primeiro desbaste de 20 *Khaya ivorensis* para o cultivo de *K. ivorensis*.**Table 5.** Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) for different cost simulations, considering 1 000 R\$ m⁻³ revenue and intensity of 20 *Khaya ivorensis* for the first thinning for *K. ivorensis* cultivation.

Cenário	Custo de manutenção anual a partir de 2 anos (R\$)							
	160		40		160		40	
	VPL (R\$)				TIR (%)			
	----- 3 Anos -----				----- 4 Anos -----			
C1	6 242,22	6 431,55	102,72	105,29	12 178,01	12 449,31	100,10	102,33
C2	5 969,50	6 158,83	94,37	96,85	11 905,29	12 176,58	94,02	96,14
C3	5 696,77	5 886,10	86,75	89,14	11 632,56	11 903,85	88,51	90,53
C4	5 424,04	5 613,37	79,78	82,08	11 359,83	11 631,12	83,48	85,41
C5	4 242,22	4 431,55	45,40	46,84	10 178,01	10 449,31	56,55	57,76
C6	3 969,50	4 158,83	42,35	43,77	9 905,29	10 176,58	54,28	55,47
C7	3 696,77	3 886,10	39,43	40,83	9 632,56	9 903,85	52,12	53,28
C8	3 424,04	3 613,37	36,64	38,02	9 359,83	9 631,12	50,04	51,18
C9	2 242,22	2 431,55	23,80	24,91	8 178,01	8 449,31	38,87	39,78
C10	1 969,50	2 158,83	21,93	23,03	7 905,29	8 176,58	37,47	38,37
C11	1 696,77	1 886,10	20,11	21,20	7 632,56	7 903,85	36,11	37,00
C12	1 424,04	1 613,37	18,35	19,43	7 359,83	7 631,12	34,79	35,67
	----- 5 Anos -----				----- 6 Anos -----			
C1	14 034,71	14 380,52	80,85	83,06	13 662,05	14 075,59	64,74	66,99
C2	13 761,99	14 107,79	76,20	78,27	13 389,32	13 802,86	61,03	63,12
C3	13 489,26	13 835,06	72,02	73,98	13 116,59	13 530,13	57,74	59,69
C4	13 216,53	13 562,34	68,25	70,10	12 843,87	13 257,41	54,78	56,61
C5	12 034,71	12 380,52	49,31	50,50	11 662,05	12 075,59	41,01	42,21
C6	11 761,99	12 107,79	47,53	48,69	11 389,32	11 802,86	39,55	40,72
C7	11 489,26	11 835,06	45,83	46,96	11 116,59	11 530,13	38,16	39,30
C8	11 216,53	11 562,34	44,22	45,32	10 843,87	11 257,41	36,85	37,95
C9	10 034,71	10 380,52	35,82	36,71	9 662,05	10 075,59	30,44	31,34
C10	9 761,99	10 107,79	34,71	35,58	9 389,32	9 802,86	29,53	30,41
C11	9 489,26	9 835,06	33,64	34,50	9 116,59	9 530,13	28,64	29,51
C12	9 216,53	9 562,34	32,60	33,45	8 843,87	9 257,41	27,79	28,64

10 *Khaya ivorensis* do volume, de 471 R\$ m⁻³ para 20 *Khaya ivorensis*, de 314 R\$ m⁻³ para 30 *Khaya ivorensis* e de 235 R\$ m⁻³ para 40 *Khaya ivorensis*. Nessa mesma sequência, tem-se viabilidade com valores mínimos de 838 R\$ m⁻³, 419 R\$ m⁻³, 280 R\$ m⁻³ e 217 R\$ m⁻³ para 5 anos e de 865 R\$ m⁻³, 433 R\$ m⁻³, 289 R\$ m⁻³ e 217 R\$ m⁻³ para 6 anos.

Os maiores valores de VPL foram observados nas simulações de desbaste aos 5 anos de idade. As estimativas mínimas da intensidade de desbaste que fornecem o retorno do capital investido nessa idade e em todas as simulações são detalhadas por TMA na Tabela 7. A estimativa percentual de volume a ser desbastado

tendeu ao decréscimo à medida que aumentaram a TMA e do preço de venda da madeira em pé.

Discussão

As 576 simulações para os custos e receitas concernentes desde a implantação até a venda de madeira em pé permitiram discriminar a rentabilidade do primeiro desbaste de monocultivo de *K. ivorensis* em diferentes idades. Apesar dos cálculos de VPL incluírem a informação da TMA fixa de 10 *Khaya ivorensis*, a TIR por

Tabela 6. Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) para diferentes simulações de custo, considerando uma receita de 1 000 R\$ m⁻³ e intensidade para o primeiro desbaste de 30 *Khaya ivorensis* para o cultivo de *K. ivorensis*.**Table 6.** Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) for different cost simulations, considering 1 000 R\$ m⁻³ revenue and intensity of 30 *Khaya ivorensis* for the first thinning for *K. ivorensis* cultivation.

Cenário	Custo de manutenção anual a partir de 2 anos (R\$)							
	160		40		160		40	
	VPL (R\$)				TIR (%)			
	----- 3 Anos -----				----- 4 Anos -----			
C1	10 171,37	10 360,71	134,82	136,98	19 129,70	19 400,99	123,11	125,03
C2	9 898,65	10 087,98	126,26	128,35	18 856,97	19 128,27	116,90	118,73
C3	9 625,92	9 815,25	118,36	120,38	18 584,25	18 855,54	111,21	112,96
C4	9 353,19	9 542,52	111,05	113,01	18 311,52	18 582,81	105,99	107,66
C5	8 171,37	8 360,71	67,65	68,85	17 129,70	17 400,99	74,01	75,03
C6	7 898,65	8 087,98	64,57	65,75	16 856,97	17 128,27	71,72	72,72
C7	7 625,92	7 815,25	61,60	62,76	16 584,25	16 855,54	69,52	70,50
C8	7 353,19	7 542,52	58,74	59,89	16 311,52	16 582,81	67,40	68,37
C9	6 171,37	6 360,71	42,56	43,48	15 129,70	15 400,99	54,21	54,98
C10	5 898,65	6 087,98	40,67	41,58	14 856,97	15 128,27	52,80	53,56
C11	5 625,92	5 815,25	38,83	39,73	14 584,25	14 855,54	51,43	52,18
C12	5 353,19	5 542,52	37,04	37,93	14 311,52	14 582,81	50,10	50,84
	----- 5 Anos -----				----- 6 Anos -----			
C1	21 964,42	22 310,23	97,33	99,26	21 450,59	21 864,13	77,23	79,20
C2	21 691,70	22 037,50	92,57	94,39	21 177,86	21 591,40	73,43	75,27
C3	21 418,97	21 764,77	88,27	89,98	20 905,13	21 318,67	70,03	71,75
C4	21 146,24	21 492,05	84,36	85,98	20 632,40	21 045,94	66,96	68,58
C5	19 964,42	20 310,23	62,50	63,51	19 450,59	19 864,13	51,35	52,38
C6	19 691,70	20 037,50	60,70	61,69	19 177,86	19 591,40	49,87	50,87
C7	19 418,97	19 764,77	58,98	59,94	18 905,13	19 318,67	48,47	49,44
C8	19 146,24	19 492,05	57,33	58,27	18 632,40	19 045,94	47,13	48,08
C9	17 964,42	18 310,23	47,70	48,45	17 450,59	17 864,13	39,91	40,67
C10	17 691,70	18 037,50	46,58	47,32	17 177,86	17 591,40	38,99	39,74
C11	17 418,97	17 764,77	45,50	46,23	16 905,13	17 318,67	38,10	38,84
C12	17 146,24	17 492,05	44,45	45,17	16 632,40	17 045,94	37,24	37,96

sua vez, representa o valor hipotético dessa taxa em que há igualdade entre despesas e retorno dos investimentos a serem trazidos para o valor presente [16]. Portanto, ressalta-se que são esperados maiores valores de VPL para menores valores da TMA e vice-versa.

Menores receitas com a venda da madeira em pé implicaram em maiores intensidades de desbaste para o alcance de viabilidade econômica. Estimou-se inviabilidade econômica para vendas de madeira aos 3 anos de idade e receitas inferiores ou iguais a 100 R\$ m⁻³, mesmo desbastando 94 *Khaya ivorensis* de volume (estimativa que contempla todos os cenários e densidade de plantio de 833 árvores ha⁻¹) do

povoamento (Tabelas 1 e 2). Na hipótese da aplicação de um corte raso nessa idade, apenas os cenários de C1 a C6 exibiram viabilidade. Salienta-se que desbastes exacerbadamente pesados aumentam o espaço útil por planta, promove a proliferação de matocompetição e, em alguns casos, limita a produtividade madeireira de colheitas posteriores [17].

É conveniente ressaltar que a inviabilidade econômica do primeiro desbaste aos 3 anos de idade não necessariamente implica em prejuízo do projeto florestal, pois valores são agregados com o estímulo do crescimento em diâmetro de árvores remanescentes. Desbastes pré-comerciais aos 3 anos de idade podem

Tabela 7. Estimativas percentuais de volume a ser desbastado em função do preço de venda da madeira em pé para que haja retorno do capital investido aos 5 anos de idade.

Table 7. Percentage estimates of volume to be thinned according to the standing wood sale price so that there is a return on the invested capital at 5 years of age.

Preço da madeira em pé (R\$ m ⁻³)	Taxa mínima de atratividade (<i>Khaya ivorensis</i>)					
	7	8	9	10	11	12
	----- Desbaste (%) -----					
500	15	16	17	17	18	19
600	13	13	14	14	15	16
700	11	12	12	12	13	14
800	10	10	11	11	11	12
900	9	9	9	9	10	11
1 000	8	8	9	9	9	10

ser planejados com o propósito de maiores receitas a longo prazo com o corte final. Também, colheitas parciais podem ser necessárias em idades juvenis de acordo com a demanda de material lenhoso para consumo próprio em pequenas propriedades.

Por outro lado, povoamentos juvenis tendem a apresentar menores rendimento lenhoso e densidade básica da madeira, comprometendo a diversificação na definição de sortimentos e o valor de venda da matéria-prima [18], [19]. Madeiras provenientes de colheitas precoces são frequentemente utilizadas para lenha ou artesanato, produtos de menor valor agregado. Além dessas possibilidades de uso da madeira juvenil, tem-se a densificação de biomassa na forma de pellets e briquetes [10]. Portanto, o planejamento do desbaste em povoamentos juvenis deve ser feito com bastante cautela para evitar prejuízos financeiros, especialmente, quando se programa retornos de capital investido logo com a venda de madeira para a primeira colheita parcial.

A orientação técnica qualificada para o planejamento da implantação, manutenção e definição do primeiro desbaste de povoamentos é imprescindível para o sucesso do empreendimento florestal. As simulações que maximizaram os valores de VPL foram aquelas com previsão de desbaste aos 5 anos de idade, cuja viabilidade econômica foi alcançada para receitas mínimas de 217 R\$ m⁻³ a 838 R\$ m⁻³ para 40 *Khaya ivorensis* a 10 *Khaya ivorensis* de volume desbastado, respectivamente. Cabe-se enfatizar que a determinação do ponto temporal de maximização de lucro é uma técnica convencionalmente utilizada para definir rotações econômicas e estratégias de regulação florestal [20], [21].

A definição da intensidade do primeiro desbaste pode ser realizada adotando critérios técnicos e/ou econômicos, oscilando em razão da necessidade de antecipação de

retorno do capital investido. A estimativa de decréscimo do percentual do volume a ser desbastado em função do aumento da receita seguiu um comportamento não linear, de potência, tendendo a uma estagnação em, aproximadamente, 10 *Khaya ivorensis* de volume colhido (Tabela 7). Nesse sentido, sugere-se que a intensidade do primeiro desbaste não seja inferior a 10 *Khaya ivorensis* do volume aos 5 anos de idade para um preço de venda da madeira em pé a 1 000 R\$ m⁻³, mesmo em face da previsão de maiores receitas.

Para as circunstâncias de alto custo de aquisição de mudas, que ultrapassem o limite máximo simulado do custo de implantação (5 000 R\$ ha⁻¹), observou-se viabilidade econômica aos 5 anos de idade em toda faixa simulada dos custos de manutenção, quando: a) para 20 *Khaya ivorensis* de desbaste, com custos de implantação de até 6 286 R\$ ha⁻¹, 7 872 R\$ ha⁻¹, 9 458 R\$ ha⁻¹, 11 044 R\$ ha⁻¹, 12 630 R\$ ha⁻¹ e 14 216 R\$ ha⁻¹ e receitas previstas com venda de madeira em pé de 500 R\$ m⁻³, 600 R\$ m⁻³, ... e 1 000 R\$ m⁻³, respectivamente (Custo máximo de implantação=-1644,00+15,86 Preço de venda, R² = 0,999) e; b) para 30 *Khaya ivorensis* de desbaste, com custos de implantação de até 5 493 R\$ ha⁻¹, 7 872 R\$ ha⁻¹, 10 251 R\$ ha⁻¹, 12 630 R\$ ha⁻¹, 15 009 R\$ ha⁻¹, 17 388 R\$ ha⁻¹, 19 767 R\$ ha⁻¹ e 22 146 R\$ ha⁻¹ e receitas previstas de 300 R\$ m⁻³, 400 R\$ m⁻³, ... e 1 000 R\$ m⁻³, respectivamente (Custo máximo de implantação=-1644,00+23,79 Preço de venda, R² = 0,999). No outro extremo, custos de aquisição de mudas podem ser reduzidos com a compra de sementes e investimento na própria produção de mudas.

A análise de diferentes simulações evidenciou que o primeiro desbaste pode ser inviabilizado economicamente quando realizado tardiamente. O VPL, antes positivo aos 4 e 5 anos, se tornou negativo com corte de 30 *Khaya*

ivorensis do volume aos 6 anos de idade na simulação do Cenário C3 + demais custos anuais de manutenção de 160 R\$ ha⁻¹ (Tabela 2). Este resultado possui grande importância prática, pois a simulação de fluxos de caixa previamente definidos é essencial para fundamentar decisões estratégicas para a aplicação de desbastes com retornos do capital investido logo com a primeira colheita parcial.

A silvicultura de *K. ivorensis* em regiões que apresentam clima do tipo Aw, pode ser uma alternativa viável para diversificação da renda, absorção de mão de obra e, melhoria da qualidade de vida dos produtores rurais. O VPL e a TIR mostraram que são ferramentas eficientes para a análise de investimentos, fornecendo informações úteis para o manejo florestal. A definição da idade para a realização do primeiro desbaste fundamentada em aspectos econômicos é de grande interesse comercial para empreendedores cujo propósito principal é a maximização dos lucros na primeira colheita parcial. Os resultados obtidos fornecem subsídios importantes para o desenvolvimento de futuras pesquisas sobre a viabilidade econômica do cultivo *K. ivorensis* em diferentes densidades de plantio e sistemas silviculturais.

Conclusões

A estimativa de lucro do primeiro desbaste em monocultivos de *K. ivorensis* é maximizada quando aplicado aos 5 anos de idade caso os valores de custos e receita estejam inclusos nos intervalos de simulação em estudo.

O planejamento do percentual de volume desbastado pode ser realizado adotando critérios econômicos como o VPL e a TIR. Para que haja retorno do capital investido logo no primeiro desbaste aos 5 anos de idade de *K. ivorensis*, a estimativa percentual do volume desbastado pode ser obtida em função do preço de venda da madeira em pé para diferentes TMA.

Referências

- [1] P. Chaikaew, O. Adeyemi, A. O. Hamilton e O. Clifford, "Spatial characteristics and economic value of threatened species (*Khaya ivorensis*)", *Scientific Reports*, vol. 10, 6266, 2020.
- [2] R. C. Mayrinck, A. C. Ferraz Filho, A. Ribeiro, X. M. Oliveira e R. R. Lima, "A comparison of diameter distribution models for *Khaya ivorensis* A. Chev. plantations in Brazil", *Southern Forests*, pp. 1-8, 2018.
- [3] L. S. S. Lopes, R. Rode, D. Pauletto, D. D. Baloneque, F. G. Santos, A. R. Silva, D. H. B. Binoti e H. G. Leite, "Uso de regressão e redes neurais artificiais na estimativa do volume de *Khaya ivorensis*", *Brazilian Journal of Wood Science*, vol. 11, no. 2, pp. 74-84, 2020.
- [4] W. P. Covre, W. V. S. Pereira, D. A. M. Gonçalves, O. M. M. Teixeira, C. B. Amarante e A. R. Fernandes, "Phytoremediation potential of *Khaya ivorensis* and *Cedrela fissilis* in copper contaminated soil", *Journal of Environmental Management*, vol. 268, 110733, 2020.
- [5] International Tropical Timber Organization – ITTO, Biennial review and assessment of the world timber situation 2015-2016, 2017. [Online]. Available: [https://www.itto.int/direct/topics/topics_pdf_download/topics_id=5194&no=1]
- [6] L. H. O. Santos, F. S. Alexandre, Z. M. S. H. Mendoza, E. C. Souza, P. H. M. Borges, R. R. Mariano, L. M. G. R. Diaz e C. A. Nunes, "Características químicas e físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)", *Nativa*, vol. 8, no. 3, pp. 361-366, 2020.
- [7] H. Yang, H. T. Choi e H. E. Lim, "Effects of forest thinning on the long-term runoff changes of coniferous forest plantation", *Water*, vol. 11, 2301, 2019.
- [8] N. Saarinen, V. Kankare, T. Yrttimaa, N. Viljanen, E. Honkavaara, M. Holopainen, J. Hyyppä, S. Huuskonen, J. Hynynen e M. Vastaranta, "Assessing the effects of thinning on stem growth allocation of individual Scots pine trees", *Forest Ecology and Management*, vol. 474, 118344, 2020.
- [9] J. C. C. Campos e H. G. Leite, *Mensuração Florestal: perguntas e respostas*. 5. ed. Viçosa-MG: UFV, 2017.
- [10] M. D. A. Moraes, M. F. Silva, P. V. G. Barbosa, R. Marques, R. T. Silva e C. R. Sette Júnior, "Characterization of *Khaya ivorensis* (A. Chev) biomass, charcoal and briquettes", *Scientia Forestalis*, vol. 47, no. 121, pp. 34-44, 2019.
- [11] M. Bonazza, M. Dobner Jr., M. Novack Jr., J. A. Sampietro, J. E. Arce e J. Wojciechowski, "Desempenho operacional e custos de desbaste pré-comercial semimecanizado em *Pinus taeda* L.", *Scientia Forestalis*, vol. 48, no. 125, e3064, 2020.
- [12] V. Vitale e G. M. Miranda, "Análise comparativa da viabilidade econômica de plantios de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*", *Floresta*, vol. 40, no. 3, pp. 469-476, 2010.
- [13] W. Köppen, *Das geographische system der klimate*. Berlin: Gerbrüder Bornträger, 1936.
- [14] C. A. Alvarez, J. L. Stape, P. C. Sentelhas, J. L. M. Gonçalves e G. Sparovek, "Köppen's climate classification map for Brazil", *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 22, no. 6, pp. 711-728, 2014.
- [15] L. F. Silva, G. L. Ferreira, A. C. A. Santos, H. G. Leite e M. L. Silva, "Equações hipsométricas e de crescimento para *Khaya ivorensis* plantada em Pirapora", *Floresta e Ambiente*, vol. 23, no. 3, pp. 262-368, 2016.
- [16] N. Stoenchev, K. Kolev, N. Iliev e Y. Hrischeva, "Comparative characteristics of the rate of return on investments in a forest plantation and other real estates in Bulgaria", *Forestry Ideas*, vol. 26, no. 2, pp. 289-301, 2020.
- [17] J. G. A. Carneiro, *Princípios de desramas e desbastes florestais*. Campos de Goytacazes: O coordenador, 2012.
- [18] F. Resquin, R. M. Navarro-Cerrillo, L. Carrasco-Letelier e C. Rachid-Casnati, "Influence of age and planting density on the energy content of *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus grandis* planted in Uruguay", *New*

Forests, vol. 51, pp. 631–655, 2020.

- [19] O. E. Sserembam, P. Mugabi, A. Y. Banana, B. C. Wessels e M. Plessis, “Variation of basic density, calorific value and volumetric shrinkage within tree height and tree age of Ugandan grown *Eucalyptus grandis* wood”, *Journal of Forestry Research*, vol. 31, pp. 503–512, 2021.
- [20] M. F. Macpherson, A. Kleczkowski, J. R. Healey e N. Hanley, “The effects in disease on optimal forest rotation: a generalizable analytical framework”, *Environmental Resource Economics*, vol. 70, pp. 565-588, 2018.
- [21] M. Acuna, R. M. Navarro-Cerrillo, F. Ruiz-Gómez, M. Lara-Gómez, J. Pérez-Romero, M. Á. Varo-Martínez e G. Palacios-Rodríguez, “How does carbon pricing impact optimal thinning schedules and net present value in Mediterranean pine plantations?”, *Forest Ecology and Management*, vol. 482, 118847, 2021.