

IMPACTOS ECONÔMICOS DA PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA INFORMATIZADO  
PARA MANEJO FLORESTAL DE *PINUS* SPP.<sup>1</sup>

*Júnia Rodrigues de Alencar*<sup>2</sup>  
*Casimiro Herruzo*<sup>3</sup>  
*Vitor Afonso Hoeflich*<sup>4</sup>  
*Edilson Batista de Oliveira*<sup>5</sup>

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os benefícios econômicos derivados dos gastos públicos na pesquisa e desenvolvimento de um sistema informatizado para a realização de simulações de crescimento e de produtividade de plantações e reflorestamento de pinus, denominado SISPLAN. Esse sistema permite gerar critérios para o planejamento da produção e da gestão de reflorestamento florestal, diminuindo a incerteza, principalmente no momento do planejamento dessa atividade. Esta avaliação é especialmente relevante no caso do conhecimento técnico-científico não incorporado aos meios de produção como é o gerado pelas tecnologias da informação, em particular àquelas atividades de pesquisa no campo da ordenação, manejo e gestão florestal. O método consistiu em identificar os custos e benefícios econômicos derivados da geração, utilização e manutenção da tecnologia SISPLAN. O marco conceitual dentro do qual se desenvolveu o trabalho é o que proporciona a economia do bem-estar, onde aborda a técnica benefício-custo, cuja utilização gera informações que contribuem para melhorar a eficiência do setor produtivo e a efetividade das políticas públicas. Foram estimados benefícios econômicos para o Brasil de US\$ 77,2 milhões em 1997 (Valor Presente Líquido), com uma relação benefício-custo de 55,7 unidades monetárias, indicando que a pesquisa é um investimento econômico atrativo.

**Palavras-chave:** avaliação econômica, software, simulação de crescimento, produtividade, reflorestamento.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em dezembro de 2004.

<sup>2</sup> Economista, Doutora em Economia e Empresa, pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Sede, W3 Norte (final) – PqEB, Caixa Postal 08815, CEP 70770-901 Brasília, DF. [junia.alencar@embrapa.br](mailto:junia.alencar@embrapa.br)

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor Catedrático da Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid. Avenida Complutense, s/n, 28040 Madrid (Espanha). [herrzc@montes.upm.es](mailto:herrzc@montes.upm.es)

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Pesquisador da Embrapa Florestas e Professor da Universidade Federal do Paraná. Estrada da Ribeira, Km 111, Caixa Postal 319, CEP 83411-000 Colombo, PR. [hoeflich@cnpf.embrapa.br](mailto:hoeflich@cnpf.embrapa.br)

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Pesquisador da Embrapa Florestas. Estrada da Ribeira, Km 111, Caixa Postal 319, CEP 83411-000 Colombo, PR. [edilson@cnpf.embrapa.br](mailto:edilson@cnpf.embrapa.br)

ECONOMIC IMPACT OF THE RESEARCH AND DEVELOPMENT  
OF A COMPUTER SYSTEM FOR FOREST MANAGEMENT OF *PINUS* SPP.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the economic benefits derived from public investments in research and development of a computer system. This system, SISPLAN, is designed to perform simulations on growth and productivity for afforestation and reforestation of *Pinus* in southern Brazil. Criteria can be generated for production planning and reforest management, thereby reducing the uncertainties associated mostly with forest activity planning. This is especially important in cases of technical-scientific knowledge that are not incorporated in the production means, because they are generated during field-research activities involved with different aspects of the forest. The method consists in identifying the costs and economic benefits derived from the generation, utilization, and maintenance of the SISPLAN technology. The framework of this research provides the estimated economic impact, using the cost-benefit technique. Utilization of this system generates information that contributes to improving efficiency in the productive sector and effectiveness in public policies. Economic gains to Brazil were estimated at \$ 77.2 million in 1997 (net present value), with a cost-benefit ratio of 55.7. This indicates that the research is an attractive economic investment.

**Key-words:** economic evaluation, software, simulations on growth, productivity, reforestation.

INTRODUÇÃO

A importância da mudança tecnológica como fator de crescimento e competitividade é amplamente reconhecida. Os trabalhos pioneiros de Schultz (1954), Griliches (1958) e Mansfield (1968) documentaram, pela primeira vez, a contribuição da pesquisa ao incremento da produtividade e ofereceram as primeiras medidas de taxas de rentabilidade social das pesquisas efetuadas nos setores público e privado. Desde então, os economistas vêm tratando de refinar os métodos, por meio dos quais analisam as fontes de crescimento econômico de modo geral, como os fatores determinantes do crescimento dos setores produtivos que compõem as economias nacionais. Dentro do setor primário, os maiores esforços têm sido realizados nos campos da agricultura e pecuária (ECHEVERRÍA, 1990). Também foram desenvolvidos esforços intelectuais para medir os benefícios e computar a rentabilidade dos gastos da pesquisa florestal (HERRUZO, 1997). Em geral, os resultados empíricos indicam

alta rentabilidade social para os investimentos destinados à pesquisa florestal pública e privada (HYDE et al., 1992).

A literatura científica trata principalmente de casos que envolvem pesquisa florestal nas áreas de física, química e biologia. Todavia, observa-se um vazio metodológico e empírico no caso da avaliação de pesquisa em ciências econômicas florestais ou em disciplinas com um importante conteúdo econômico, como o da gestão florestal, cujos resultados se materializam em tecnologia de caráter organizativo e planejamento de atividades florestais. A falta de estudos de avaliação tem pelo menos dois resultados negativos. Primeiro, é difícil determinar se o gasto atual em pesquisa econômica florestal é adequado. Segundo, é que a falta de estudos impede comparar os ganhos sociais em pesquisa em economia florestal com os ganhos sociais derivados de outras atividades de pesquisa, para as quais as estimativas quantitativas podem estar disponíveis. Essa situação coloca a pesquisa econômica florestal em desvantagem quando estiver competindo com outras áreas, em condições de fundos de pesquisa escassos.

Um dos principais problemas ao computar os benefícios econômicos de atividades de pesquisa é determinar o meio pelo qual a pesquisa contribui com o incremento do bem-estar social (SMITH; PARDEY, 1997). Resultados de atividades de pesquisa florestal, executadas freqüentemente em ciências experimentais, materializam-se em inovações tecnológicas, que são incorporadas a novos processos produtivos ou a novos produtos cujo impacto econômico é facilmente identificado. Todavia, a pesquisa econômica florestal, em particular, em manejo de plantações, gera conhecimentos não incorporados, constituindo um conjunto de informações que, uma vez em poder dos centros de decisão público e privado, contribui com o aumento da produtividade do setor e, em última instância, o incremento do bem-estar social. Nesse caso, os passos necessários para a materialização dos benefícios da pesquisa são menos tangíveis e muito mais difíceis de serem medidos diretamente.

As novas tecnologias da informação, isto é, inovações orientadas para os processos automatizados da tomada de decisão, estão abrindo novas possibilidades de transmissão do conhecimento técnico de caráter organizativo, como é o caso da pesquisa em manejo de plantações florestais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os benefícios econômicos derivados dos gastos públicos na pesquisa e desenvolvimento de um sistema informatizado para a realização de novos critérios de gestão, simulações de crescimento e de

produtividade de plantações e reflorestamento de pínus, denominado SISPLAN, tendo como região de estudo o Sul do Brasil, desenvolvido em 1988 pela Embrapa Florestas, sendo adotado e atualizado até o presente.

### A TECNOLOGIA SISPLAN

A origem do SISPLAN pode ser mais bem compreendida dentro do contexto recente do processo de reflorestamento brasileiro. Durante o período de 1966 a 1987, o governo brasileiro desenvolveu um amplo programa de incentivos fiscais para o reflorestamento, principalmente com espécies exóticas de *Pinus* e *Eucalyptus*. O objetivo do programa de incentivos fiscais ao reflorestamento era duplo. Por um lado, satisfazer a demanda crescente interna por produtos florestais e, por outro, reduzir o crescente custo ambiental originado por um intenso processo de desmatamento de espécies nativas de grande valor ecológico. Como resultado deste programa, a área de reflorestamento das espécies supracitadas aumentou de 600 mil hectares, em 1967, para mais de 6,5 milhões de hectares, em 1992. Aproximadamente 89% dos reflorestamentos foram realizados por esse programa. No caso específico da espécie *Pinus*, a nova área reflorestada foi de 1,06 milhão de hectares, considerando-se apenas o Sul do Brasil (BACHA, 1993; ANTONANGELO, 1997). Para participar desse programa, os beneficiários teriam que seguir recomendações preestabelecidas com respeito à prática de manejo, como idade de rotação e o número de desbastes. Essas recomendações de manejo estavam baseadas em informações disponíveis na época (1966). Desde essa data, as instituições de pesquisa no Brasil têm desenvolvido uma ampla pesquisa sobre atividades de manejo e silvicultura de *Pinus* spp., e, em muitos casos, questionaram o uso das práticas silvícolas tradicionais, sugerindo novos conceitos de produção florestal, sempre com o propósito de otimizar o turno de rotação para o empresário florestal (AHRENS, 1987, 1992).

As tecnologias da informação têm um importante papel na gestão técnica e econômica do processo produtivo, tanto no plano gerencial como nos centros de tomada de decisão. O desenvolvimento da tecnologia SISPLAN originou-se da necessidade de difusão de conhecimento em práticas silviculturais disponíveis, que facilitam o incremento da produtividade da floresta, melhoria na qualidade da madeira e na avaliação dos impactos benéficos para os silvicultores e indústria de base florestal.

A tecnologia SISPLAN combina um modelo de simulação de produção com métodos de economia financeira (OLIVEIRA, 1995). Esse sistema informatizado permite prever crescimento e produção de povoamentos florestais, baseado em sua idade, dentro de um determinado sítio (OLIVEIRA, 1995). Desde 1989, o *software* SISPLAN tem sido utilizado para a tomada de decisão sobre o manejo de populações de *Pinus* na Região Sul do Brasil, em uma área superior a 500 mil hectares (ALENCAR, 1999). Em menor escala, sua utilização tem sido expandida a outras regiões do Brasil, assim como em outros países da América Latina. A tecnologia SISPLAN tem influenciado a adoção de regimes de manejo florestal mais eficientes, contribuindo com o aumento da rentabilidade da atividade florestal naquelas regiões.

Essa tecnologia consiste em três módulos: a) *software* SISPINUS, que simula o desbaste, crescimento anual, distribuição de madeira para múltiplos usos, de acordo com o diâmetro da tora; b) *software* PLANIN, que calcula parâmetros de avaliação econômica e financeira, analisa sensibilidade da rentabilidade a taxas de desconto diferentes; e c) *software* REPLAN, que gera um banco de dados da rentabilidade para sistemas diferentes de manejo de populações florestais, em função de outras variáveis, entre elas o corte-final, índice de sítio e taxas de desconto. A integração dos três módulos permite obter uma visão global dos fatores biológicos e econômicos. Também permite a simulação de diferentes cenários de planejamento, produção com uma função de diferentes destinos da madeira, mudanças nos preços, custos e taxa de descontos (OLIVEIRA, 1995, 1997).

O simulador tem importante aplicação nos estudos sobre seqüestro de carbono, servindo para fazer prognoses e quantificar a biomassa das árvores e do carbono retirado da atmosfera por elas para fins de *commodities*. Trabalhos com este fim utilizando o SISPINUS foram apresentados por Rener (2004) e Mello (2004).

## MÉTODO

O enfoque utilizado para avaliar a rentabilidade social da pesquisa do simulador de crescimento de pínus, SISPLAN, fundamenta-se no conceito de excedente econômico, baseado na teoria do bem-estar Marshalliano que utiliza a técnica benefício–custo. Esse enfoque encontra-se nas linhas de trabalhos

prévios no campo da pesquisa florestal adotado por Huang e Teeter (1990), McKenney (1986) e McKenney et al. (1993), entre outros.

Os benefícios privados da pesquisa por hectare são obtidos pelos ganhos adicionais da plantação ao utilizar a nova tecnologia, isto é, a projeção de produção obtida com o sistema SISPLAN. Entretanto, os benefícios líquidos totais da pesquisa obtêm-se diminuindo os benefícios privados totais (benefícios privados por hectare multiplicados pela área total plantada) dos custos da pesquisa e manutenção do SISPLAN. Considera-se que uma nova tecnologia gerada pela pesquisa florestal resulta economicamente viável quando apresenta benefícios líquidos positivos. Em virtude do longo prazo de retorno dos investimentos florestais, grande parte dos benefícios líquidos dessa pesquisa não foi ainda obtida apesar da tecnologia se encontrar disponível desde 1989. Como consequência, a análise tem um duplo caráter, tanto *ex-post* como *ex-ante*.

A magnitude das mudanças no excedente econômico Marshalliano, a raiz dos deslocamentos das curvas de oferta e/ou demanda, induzidos pela pesquisa, dependem, entre outros fatores, das condições do mercado (elasticidades dos preços de oferta e de demanda) e da natureza do deslocamento. Portanto, em muitos dos trabalhos de avaliação da pesquisa, em especial aqueles centrados no setor agrário, modelizam-se explicitamente essas condições. Todavia, no setor florestal, a dificuldade de conhecer as condições de oferta e demanda, aliadas ao longo período de tempo que normalmente transcorre entre a adoção dos resultados da pesquisa e seus efeitos sobre a produção, tem requerido esforços de avaliação menos sensíveis às condições de mercados. Nesses casos, utilizam-se os preços atuais ou os preços esperados, para computar os benefícios líquidos da pesquisa (McKENNEY, 1986). Esse foi o critério adotado neste trabalho, ao supor que tanto os preços da madeira produzida como os dos insumos utilizados são constantes e conhecidos. A produção extra atribuída à pesquisa é avaliada a um único preço de mercado (preço atual). Assume-se que a curva de oferta é vertical ao longo de uma curva de demanda horizontal, perfeitamente elástica. Os benefícios privados totais da pesquisa são medidos em função da mudança esperada no valor adicional da produção. Portanto, ao aplicar os critérios de valorização dos investimentos para medir os benefícios da pesquisa, não se medirá de forma explícita o excedente econômico, mas sim implicitamente (ALSTON et al., 1995).

No modelo desenvolvido a seguir, supõe-se que a disponibilidade da tecnologia SISPLAN proporciona ao empresário florestal a informação que permite adotar um regime de manejo mais rentável do que o regime de manejo tradicional, o incremento na rentabilidade de sua inversão pode vir originado por alguma das seguintes circunstâncias: eleição de um período de rotação mais adequado, melhor planejamento das atividades culturais e aumento no preço obtido pela madeira, segundo o seu destino industrial.

O **benefício privado** (BP) por hectare derivado da adoção da tecnologia obtém-se do restante do valor presente líquido (VPL), da inversão no regime de manejo mais rentável (simulado pelo SISPLAN), o VPL da inversão no regime de manejo tradicional, apresentado na seguinte fórmula:

$$BP = VPL_2 - VPL_1, \text{ onde,} \quad (1)$$

$VPL_2$  = valor presente líquido da inversão no novo regime de manejo

$VPL_1$  = valor presente líquido da inversão no regime de manejo tradicional

A formulação correta do VPL, no caso de inversões florestais, é a que sugeriu Faustmann-Pressler-Ohlins's 1849, que inclui uma cadeia infinita de ciclos de corte, com a que se considera implícita a existência de um custo de oportunidade ou renda da terra (SAMUELSON, 1976; HYDE, 1980; JOHANSSON; LÖFGREN, 1985). No seu planejamento mais simples, o VPL segundo Faustmann vem dado pela seguinte expressão:

$$VPL = [I e^{-it} - K] (1 - e^{-it})^{-1}, \quad (2)$$

onde, VPL: valor presente líquido da inversão (\$/ha); I: renda obtida pelo corte e venda da massa florestal nos t anos; i: taxa de desconto; K: custo da plantação.

Segundo Romero et al.(1998), a fórmula (2) pode ser generalizada ao contexto deste trabalho, considerando o conjunto de rendas e despesas da exploração florestal, da seguinte forma:

$$VPL = [Ie^{-it} + \sum R e^{-ih} - K - Gi^{-1}(1-e^{-it}) - Ti^{-1}(1-e^{-it}) - \sum Me^{-is} - Ee^{-it}] (1-e^{-it})^{-1}, \quad (3)$$

onde, I: renda obtida pelo corte e venda da massa florestal nos t anos, ou seja nos turnos de rotação; i: taxa de desconto; K: custo da plantação; R: fluxo de

caixa dos desbastes; G: despesas anuais da exploração; T: despesas anuais da tecnologia; M: despesas dos trabalhos culturais; E: custo de derruba e retirada da madeira. Os subperíodos h:  $h_1, h_2, \dots$  e s:  $s_1, s_2, \dots$  representam os anos nos quais se prevêem a realização dos desbastes e dos trabalhos culturais, respectivamente.

As rendas obtidas pela venda de madeira, tanto no caso daquelas resultantes dos desbastes como do corte final, obtêm-se multiplicando os volumes obtidos, segundo destino industrial da madeira, ou seja, para lâmina, serraria, celulose/pasta e lenha, por seus correspondentes preços. Contudo, os custos atribuídos aos desbastes e à derrubada e retirada da madeira computam-se em função do volume total de madeira obtido em cada caso.

#### Benefícios privados anuais

Assim, partindo-se das expressões (2) e (3), o VPL correspondente às rendas adicionais que reporta a adoção da tecnologia é obtida da seguinte forma:

$$BP_r = A_r \{ [I(t)e^{-it} + \sum R e^{-ih} - K - G i^{-1} (1 - e^{-it}) - T i^{-1} (1 - e^{-it}) - \sum M e^{-is} - E e^{-it}]_2 - [I(t)e^{-it} + \sum R e^{-ih} - K - G i^{-1} (1 - e^{-it}) - \sum M e^{-is} - E e^{-it}]_1 \} (1 - e^{-it})^{-1}, \quad (4)$$

onde,  $BP_r$ : benefícios privados da superfície plantada no ano r e corte do ano t;  $A_r$ : área que se adota a tecnologia no ano r (ha); r: ano de início da plantação;  $[ ]_2$ : nova tecnologia;  $[ ]_1$ : antiga tecnologia.

A área que se adota à tecnologia é obtida multiplicando a área plantada de pinus, em cada ano, por um coeficiente ( $Ta_r$ ) que representa a taxa de adoção da tecnologia nesse ano, ou seja,  $A_r = AT_r Ta_r$ , onde,  $AT_r$ : superfície total de novas plantações no ano r.

#### Benefícios privados totais

Os benefícios privados totais da tecnologia ao longo do período de análise, referidos ao ano base, expressam-se como:

$$BPT_a = BP_r \int_m^n e^{i(a-r)} dt \quad (5)^6$$

<sup>6</sup> A expressão (5) supõe que se utilizam dados do ano r. No caso de contar somente com dados do ano base, os benefícios privados totais são obtidos mediante a soma dos benefícios privados anuais.

onde,  $BPT_a$ : benefícios privados totais;  $BP_r$ : benefício privado anual;  $a$ : ano base (1997);  $m, n$ : ano inicial e final da análise (neste estudo  $m = 1981$  e  $n = 2005$ ).

#### Benefícios líquidos totais

O benefício líquido total da tecnologia ao longo do período de análise é obtido diminuindo dos benefícios privados totais obtidos em (5) os custos totais da pesquisa, que incluem todos os recursos destinados para a pesquisa e algum custo adicional requerido para desenvolver e manter a nova tecnologia ao longo do tempo.

$$BLT_a = BPT_a - C_r \int_x^z e^{i(a-t)} dt, \quad (6)$$

onde,  $BLT_a$ : benefício líquido total da pesquisa;  $C_r$ : custo anual da pesquisa;  $x, z$ : ano inicial e final do programa de pesquisa ( $x = 1981$  e  $z = 2005$ ).

#### Relação benefício–custo

Considera-se que uma inversão em pesquisa florestal é socialmente rentável quando ela gera benefícios líquidos positivos. No entanto, o cômputo desses benefícios líquidos *per se* (valor da inversão) não proporcionam informações sobre a rentabilidade relativa da inversão comparada a outras inversões públicas alternativas, e, portanto, não permite ordenar os projetos de acordo com a sua maior ou menor eficiência no gasto público. Essa situação pode ser amenizada mediante o cômputo da relação benefício–custo (B/C) ou retorno médio por unidade de inversão realizada e, a partir daí, ordenar os projetos de pesquisa em função de sua rentabilidade social. No contexto do modelo, a relação benefício–custo se expressa como:

$$B/C = BLT/CI, \text{ onde, } BLT: \text{ benefício líquido total; } CI: \text{ custo total da pesquisa. } (7)$$

#### Análise de sensibilidade

A “análise de sensibilidade” pretende determinar a influência exercida sobre os resultados do modelo, por possíveis variações nos valores dos diferentes parâmetros econômicos e tecnológicos que definem a inversão, por exemplo: preço da madeira, taxa de desconto, índice de sítio e outros.

## DADOS E PARÂMETROS

Os dados requeridos para aplicação e análise do modelo incluíram: a) área florestal da tecnologia adotada; b) volume comercial da madeira dos regimes de manejo alternativos; c) preços da madeira de acordo com o seu destino; d) custos de produção; e) custos da pesquisa e desenvolvimento do sistema de simulação; f) taxa de desconto.

Nessa análise, o intervalo de tempo envolvido foi de 1981 a 2005. O ano de 1981 foi selecionado como ponto de partida da pesquisa porque os primeiros desbastes tiveram lugar aos oito anos da plantação de pínus, de maneira que as plantações realizadas nesse ano poderiam ser objeto de adoção das pautas de manejo propostas pela tecnologia SISPLAN, disponível em 1989. Como para a Região Sul só estão disponíveis estimativas de plantações de *Pinus* spp. até o ano 2005, este foi escolhido como ano final neste estudo. A área de adoção da tecnologia, ao longo de todo o período, foi estimada em 546 mil hectares, com uma taxa de adoção de 84,5%, obtida em função da superfície florestal de *Pinus* spp. e por meio de contatos com silvicultores e empresas florestais que adquiriram a tecnologia SISPLAN (ALENCAR, 1999).

A determinação dos preços da madeira ocorreu de acordo com a utilização final da matéria-prima (lâmina, serraria, pasta e/ou celulose e lenha). A Tabela 1 indica os preços da madeira de *Pinus* spp. em m<sup>3</sup>, expressos em US\$ de 1997.

**Tabela 1.** Preços médios da madeira de pínus no caminhão de transporte, em 1997<sup>1</sup>.

Destino do pínus, em tora	Diâmetro (cm)	Preço médio da madeira no caminhão de transporte (US\$/m <sup>3</sup> )
Energia	< 8	9,38
Pasta/celulose	8 – 15	12,49
Serraria	15 – 25	19,52
Lâmina	> 25	27,86

<sup>1</sup> Informações de preços de madeira em pé, da “STCP Engenharia de Projetos Ltda”.<sup>7</sup> localizada em Curitiba, Estado do Paraná, Brasil.

<sup>7</sup> STCP Engenharia de Projetos Ltda. Padrão STCP. Banco de Dados e Centro de Informação e Inteligência – CI&I. <http://www.stcp.com.br/padraostcp.htm>.

A espécie escolhida foi *Pinus taeda* porque corresponde a mais de 50% da área de pínus plantada no Sul do Brasil. Essa espécie é altamente produtiva e com características adequadas à produção de fibra longa, como também a lâminas e serrarias.

Para avaliar os benefícios potenciais do SISPLAN, foram simulados 25 regimes de manejos (RM), apoiados em estudos sobre práticas silvícolas na Região Sul do Brasil (AHRENS 1992; OLIVEIRA, 1995), sistematizados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Regimes de manejo (RM) de *Pinus taeda* utilizados na análise dos benefícios potenciais do SISPLAN.

Regimes de manejo	Idades em anos dos desbastes (D) e dos turnos de rotações ou corte final												
	0	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
1	0					16							
2	0	D1				16							
3	0	D1					18						
4	0	D1						20					
5	0	D1							22				
6	0	D1								24			
7	0	D1	D2			16							
8	0	D1	D2				18						
9	0	D1	D2					20					
10	0	D1	D2						22				
11	0	D1	D2							24			
12	0	D1	D2								26		
13	0	D1	D2			D3	18						
<b>14</b>	<b>0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>			<b>D3</b>		<b>20</b>					
15	0	D1	D2			D3			22				
16	0	D1	D2			D3				24			
17	0	D1	D2			D3					26		
18	0	D1	D2			D3						28	
19	0	D1	D2			D3							30
20	0		D1		D2		D3	20					
21	0		D1		D2		D3		22				
22	0		D1		D2		D3			24			
23	0		D1		D2		D3				26		
24	0		D1		D2		D3					28	
25	0		D1		D2		D3						30

A primeira coluna indica os respectivos regimes de manejo, ordenados numericamente de 1 a 25. O RM 14 corresponde ao regime de manejo, determinado pelo programa de incentivos fiscais para o reflorestamento, como tecnologia adotada e/ou a ser utilizada na proposta de financiamento, neste trabalho, considerado como tecnologia antiga. Os demais RMs foram considerados como novas alternativas tecnológicas, que uma vez disponíveis aos empresários florestais, esses possam adotar o regime de manejo que mais se adéque aos seus objetivos.

A segunda coluna mostra o momento e o número dos desbastes (D1, D2, D3) de cada regime de manejo, bem como os turnos de rotações ou corte final (16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 anos). Observa-se que cada RM caracteriza-se por um comportamento diferente de prática silvícola.

A Tabela 3 resume os volumes comerciais da madeira de acordo com o uso industrial em cada um dos 25 regimes de manejo simulados pelo SISPLAN. Vale ressaltar que essas estimativas de volumes comerciais assumiram condições semelhantes quanto ao conteúdo genético, quantidade de árvores plantadas por hectare, espaçamento à idade inicial e índice de sítio.

Considerando o volume total colhido, a maior produção foi obtida pelo RM25 ( $776.5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). O turno de rotação desse regime de manejo foi de 30 anos. De acordo com cada uso industrial, o maior volume para lâminas foi o RM19 ( $289.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), para serraria foi o do RM6 ( $425.1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) e o maior volume tanto para pasta e/ou celulose ( $132,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) como para energia ( $21,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) foi o do RM1.

Além da informação sobre volumes comerciais e preços da madeira em toras, foram computados os custos de produção dos 25 regimes de manejo. A Tabela 4 contém estimativas de custos médios de plantações e operações silviculturais de pínus, no Sul do Brasil, referentes a 1997.

Essas estimativas de custos incluem as atividades de plantação, operações de atividades de tratamentos culturais, derrubada e retirada das toras, bem como custos administrativos de gestão. Por outro lado foi considerado um custo simbólico de utilização de tecnologia de US\$ 1,00/ha ao longo do período de plantação de pínus.

**Tabela 3.** Volume comercial total do corte final segundo uso industrial (lâmina, serraria, polpa, lenha) da madeira de *Pinus taeda*<sup>1</sup>.

Regimes de manejo (RM)	Volume no corte final (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )/destino industrial					Vol. total (CF+desbastes - m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
	Lâmina	Serraria	Polpa	Lenha	Total	
1	9.2	370.7	132.5	21.1	533.5	533.5
2	15.4	316.6	95.3	14.2	441.5	488.6
3	40.6	355.7	96.6	14.6	507.6	554.7
4	66.5	396.5	92.9	13.3	569.2	616.3
5	115.9	390.8	98.8	13.6	619.1	666.2
6	140.2	425.1	86.5	13.1	664.8	711.9
7	21.2	255.9	54.6	8.7	340.4	455.3
8	44.3	298.7	50.5	7.7	401.2	516.1
9	106.0	291.3	52.9	8.3	458.5	573.4
10	139.6	317.9	47.1	8.3	512.9	627.8
11	174.3	328.0	53.8	7.3	563.5	678.4
12	222.2	333.1	49.8	7.9	613.0	727.9
13	37.3	209.1	30.3	4.3	281.0	492.9
14	95.4	201.6	28.1	4.8	329.9	541.8
15	133.1	212.7	27.2	4.9	377.9	589.8
16	170.2	222.6	26.8	4.7	424.3	636.2
17	215.7	221.6	27.0	4.7	469.0	680.9
18	256.3	219.7	29.5	4.7	510.3	722.2
19	289.0	227.7	27.3	4.6	548.6	760.5
20	70.7	203.8	29.8	5.4	309.7	570.0
21	105.0	218.5	29.8	4.3	357.7	618.0
22	140.5	228.2	28.4	4.6	401.7	662.0
23	185.1	226.5	28.7	4.7	445.0	705.3
24	220.6	226.9	30.6	4.7	482.7	743.0
25	248.6	234.4	28.3	5.0	516.2	776.5

<sup>1</sup>RM1 sem desbaste. RM2.D1, RM7.D2 e RM13.D3 (1º, 2º e 3º desbastes aos 8, 12 e 16 anos, respectivamente). RM20.D1, RM20.D2 e RM20.D3 (1º, 2º e 3º desbastes aos 10, 14 e 18 anos, respectivamente, expressados na Tabela 2).

**Tabela 4.** Estimativas dos custos médios de plantação e aproveitamento de um hectare de *Pinus taeda* no Sul do Brasil<sup>1</sup>.

Atividades silvícolas	Custos (US\$ 1,00/Ud <sup>2</sup> )
Plantação de população de <i>Pinus</i>	600,00/ha
Custo dos tratamentos culturais	
1º ano	150,00/ha
4º ano	50,00/ha
9º ano	40,00/ha
Custo da derruba e retirada das toras	6,00/ha
Gestão (custo anual <i>standard</i> )	20,00/ano

<sup>1</sup>Contatos com pesquisadores e com silvicultores em novembro e dezembro de 1997, janeiro de 1998. Custos médios referentes a 1997.

<sup>2</sup>Ud. – Unidade de medida em cada atividade.

A Tabela 5 contém os custos anuais de pesquisa e desenvolvimento da tecnologia SISPLAN, na forma de custos de pessoal e despesas operacionais de suporte, desde o seu início, ou seja, em 1988. Uma primeira versão do sistema foi obtida em 1989 e modificada nos anos seguintes. São assumidos também os custos de manutenção da pesquisa até o ano de 2005. Ao longo do período estudado, o custo total do investimento na tecnologia SISPLAN foi calculado em 1,39 milhões de dólares americanos, atualizado e capitalizado para o ano de 1997 (ALENCAR, 1999).

A taxa de desconto também teve um efeito significativo na rentabilidade porque os investimentos em plantações florestais demanda um longo período para gerar benefícios. Todos os cálculos monetários foram executados em dólares americanos constante de 1997. Assim, a taxa real de desconto escolhida foi de 6% para exemplos de magnitude da taxa de desconto no setor florestal (KULA, 1994). Para a análise de sensibilidade consideraram-se taxas de desconto de 4% e 8%.

**Tabela 5.** Custo da pesquisa, desenvolvimento e manutenção do SISPLAN, em milhões de dólares correntes de 1997, a taxa de desconto de 6%<sup>1</sup>.

Anos	Pessoal (A)	Operacional (B)	P&D (C=A+B)	Total P&D
1988	44,24	12,74	56,98	97,78
1989	44,50	6,51	51,06	82,52
1990	34,87	11,62	46,48	70,74
1991	35,18	9,97	45,15	64,71
1992	35,49	6,45	41,95	56,63
1993	35,81	8,26	44,07	56,02
1994	36,12	24,87	60,00	73,03
1995	67,06	15,76	82,83	93,39
1996	80,65	20,11	100,76	106,99
1997	81,34	14,40	95,74	95,74
1998	81,34	14,40	95,74	90,16
1999	81,34	14,40	95,74	84,91
2000	81,34	14,40	95,74	79,97
2001	81,34	14,40	95,74	75,31
2002	81,34	14,40	95,74	70,93
2003	81,34	14,40	95,74	66,80
2004	81,34	14,40	95,74	62,91
2005	81,34	14,40	95,74	59,25
Total	1.146,03	245,92	1.391,94	1,387,78

<sup>1</sup> Informações obtidas nos setores de recursos humanos e financeiros da Embrapa Florestas, adicionados os custos sociais, que representam 88,87% sobre os salários, bem como os custos de consultoria nos anos de 1988 e 1989.

## RESULTADOS

O modelo econômico usado nesta análise, utilizando os dados e parâmetros do item anterior, gera os seguintes resultados econômicos relativos à tecnologia SISPLAN: benefícios privados por hectare, benefícios privados totais, benefícios líquidos totais e relação benefício–custo.

Na Tabela 6 apresentam-se os valores atuais líquidos (VPL) dos 25 regimes de manejo simulados, os quais indicam o benefício privado líquido por hectare para cada regime de manejo, expressados em dólares americanos de 1997. Os valores presentes líquidos (VPL) variaram de \$ 1,708 (RM19) a \$ 2,160 (RM1) por hectare.

Três casos foram considerados para computar os benefícios potenciais da tecnologia SISPLAN. Caso 1: compara-se o RM14, estabelecido pelo programa governamental brasileiro de incentivos fiscais ao reflorestamento (tecnologia antiga), com o RM1, cuja inversão proporciona a maior rentabilidade. Caso 2: compara-se o RM14 com o RM9. Este regime de manejo tem o mesmo turno de rotação, porém, com uma estrutura de desbaste diferente. O objetivo dessa comparação é verificar como uma estrutura de desbaste afeta a rentabilidade. Caso 3: compara-se o regime de manejo mais rentável, RM1, com o menos rentável, RM19. Essa comparação pretende mostrar o benefício potencial derivado da utilização da tecnologia de SISPLAN. A Tabela 7 resume os resultados obtidos na análise dos três casos. A coluna 2 indica o benefício privado por hectare baseado no VPL obtido para cada regime de manejo (Tabela 6). Os benefícios líquidos totais foram derivados depois de subtrair os gastos públicos envolvidos na pesquisa e desenvolvimento da tecnologia SISPLAN (Tabela 5).

A comparação do RM1 com o RM14 (Caso 1), mostrado na Tabela 7, indica que os benefícios líquidos totais dos investimentos na pesquisa e desenvolvimento do SISPLAN foram de US\$ 77,2 milhões e a relação benefício–custo de 55,7, ou seja, para cada unidade monetária gasta no desenvolvimento do SISPLAN obteve um retorno de 55,7 unidades monetárias. O RM1 tem um turno de rotação de 16 anos e nenhuma operação de desbaste (Tabela 2). RM14 tem uma rentabilidade mais baixa, por causa dos custos envolvidos nas três operações de desbaste não contemplados no RM1. Quando se comparam os regimes de manejo RM9 com o RM14 (Caso 2), o benefício

líquido total é de US\$ 37,9 milhões e a relação benefício–custo é de 27,3. Finalmente, quando se compara o regime de manejo RM1 (mais rentável) com o RM19 (menos rentável), o benefício líquido total é de US\$ 245.5 milhões e a relação benefício–custo de 176. Os três casos analisados indicam altos benefícios públicos para investimentos em pesquisa e desenvolvimento da tecnologia SISPLAN. Resultados semelhantes foram encontrados em outras pesquisas florestais realizadas por Huang e Teeter (1990), e McKenney et al. (1993).

**Tabela 6.** Valor Presente Líquido (VPL) dos 25 Regimes de Manejo (US\$ 1997).

Regimes de manejo	VPL
1	<b>2160</b>
2	2007
3	2066
4	2053
5	1974
6	1829
7	1848
8	1964
9	2088
10	2051
11	1943
12	1863
13	1833
<b>14</b>	<b>2016</b>
15	2011
16	1973
17	1921
18	1825
19	1708
20	2022
21	2047
22	2015
23	1973
24	1873
25	1751

**Tabela 7.** Benefícios da tecnologia SISPLAN capitalizados e atualizados para o ano de 1997.

Regimes de manejo	Benefício privado/ha (US\$ 1,00)	Benefícios privados totais (US\$10 <sup>6</sup> )	Benefícios líquidos totais (US\$10 <sup>6</sup> )	Relação B/C
<b>Caso 1</b> (RM1-RM14)	144	78,6	77,2	55,7
<b>Caso 2</b> (RM9-RM14)	72	39,3	37,9	27,3
<b>Caso 3</b> (RM1-RM19)	452	246,8	245,5	176,9

O RM1, cuja simulação oferece a maior rentabilidade, coincide com o regime de manejo em muitos casos utilizados pelas indústrias de processamento químico de papel e celulose, que preferem uma madeira de *Pinus* spp. com menor diâmetro. Em geral, essas indústrias tanto produzem como processam a madeira. Entretanto, o regime de manejo que gerou uma menor rentabilidade, RM19, com turno de rotação de 30 anos, é o mais preferido pelas indústrias de processamento mecânico, ou seja, lâmina e serraria. Essas indústrias requerem toras de madeira com melhores propriedades tecnológicas e com maiores diâmetros, para serem destinadas à construção civil, fabricação de móveis, lâminas e conglomerados, bem como com possibilidades de ampliar sua utilização. Ademais, de acordo com relatório, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 1995) ao abordar as desvantagens econômicas dos turnos de rotação muito longos no Brasil, esses turnos, ainda assim, são considerados curtos quando se comparam com os ciclos de mais de 80 anos que caracterizam os bosques boreais de clima temperado.

Entretanto, os regimes de manejo com retorno dos investimentos de longo prazo, a exemplo do RM19, poderiam substituir a utilização de madeira de floresta nativa, recurso escasso e de grande valor ambiental, por madeira procedente de floresta plantada, evitando assim as pressões a sobreutilização à floresta nativa. Assim, observa-se um *trade-off*<sup>8</sup> entre ganhos financeiros e ambientais. Para reduzir e/ou eliminar este *trade-off* deveriam ser

<sup>8</sup> Em economia, expressão que define situação conflitante, isto é, quando uma ação econômica que visa à resolução de determinado problema acarreta, inevitavelmente, outros.

implementadas políticas públicas para previsão dos meios técnicos e institucionais necessários para aumentar a rentabilidade dos regimes de manejo com turnos de rotação mais longos.

Os benefícios potenciais da tecnologia SISPLAN (Tabela 7) foram afetados pela adoção de distintas hipóteses sobre o valor dos parâmetros do modelo. Por essa razão, foi efetuada uma análise de sensibilidade alterando os valores iniciais dos preços da madeira, das taxas de desconto e dos índices de sítio. Quando os preços da madeira em toras foram aumentados, a rentabilidade dos regimes de manejo, com turnos de rotação mais curtos, também sofreu aumento. Entretanto, quando os preços da madeira em toras foram reduzidos, os regimes de manejo com rotações mais longas foram os mais beneficiados. A variação dos preços também afetou os resultados obtidos sobre a rentabilidade das inversões públicas na pesquisa e desenvolvimento da tecnologia SISPLAN. Assim, quando os preços da madeira em toras aumentavam, aumentava também a relação benefício–custo dos gastos da pesquisa, e o contrário ocorreu ao diminuir os preços. Dessa forma, verificou-se a influência desse parâmetro econômico nos investimentos florestais e de pesquisa.

A análise de sensibilidade mostrou também a grande importância da taxa de desconto ao computar os resultados dos investimentos florestais. De acordo com o já demonstrado por Samuelson (1976), esses resultados indicam a tendência aos turnos de rotação mais curtos à medida que aumenta a taxa de desconto, já que os rendimentos e as inversões florestais tendem a diminuir com o passar do tempo. Por sua vez, as adoções de diferentes valores para a taxa de desconto também afetaram as estimativas dos benefícios sociais dos investimentos na pesquisa da tecnologia SISPLAN. Não obstante, em nenhum caso houve alteração da vantagem relativa da tecnologia nova com respeito à tecnologia antiga e com os regimes de manejo com turnos de rotação mais longos. Igual situação foi observada quando foram alterados os valores dos índices de sítio, apoiando, dessa forma, os resultados obtidos com o modelo.

## CONCLUSÕES

A avaliação econômica da pesquisa do sistema computadorizado de projeção de plantações e manejo de *Pinus ssp.*, denominado SISPLAN, mostra que os benefícios potenciais derivados dos investimentos públicos em tecnologias

de gestão contribuem com o melhoramento do planejamento e da organização das atividades florestais. Estimativas para o caso básico, ou seja, aquele indicado pela Política Governamental de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento, proporcionaram ganhos econômicos para o Brasil de US\$ 77,2 milhões (valor presente líquido referente ao ano de 1997), com uma relação de benefício–custo de 55,7 unidades monetárias, comprovando um atrativo investimento econômico para esse tipo de pesquisa.

Esses resultados são também indicativos dos ganhos potenciais que os países com sistemas de pesquisa com grau intermediário de desenvolvimento, como é o caso de Brasil, podem obter, mediante a apropriação de transferência de conhecimentos técnico-científicos procedentes de sistemas de pesquisa mais desenvolvidos. Nesse sentido, ao estudar a gênese da tecnologia SISPLAN, constata-se a existência de importantes efeitos de transbordos tecnológicos internacionais para dentro, *spill-in*, na medida em que, com recursos humanos e financeiros escassos, foi possível captar um enorme volume de conhecimento técnico-científico gerado fora do país e canalizá-lo para uma tecnologia de alto rendimento para o setor florestal. Pode-se salientar que, o êxito desse fenômeno de transferência tecnológica não seria possível sem a existência de uma trajetória prévia de pesquisa em silvicultura e campos afins no Brasil, sem a qual, os benefícios da utilização da tecnologia SISPLAN não teria sido possível.

Finalmente, o simulador de plantações e manejo de pínus – SISPLAN – gera também efeitos de transbordo para fora, *spill-out*, não quantificados neste artigo, na medida em que a tecnologia está sendo utilizada em outras regiões do Brasil e em outros países não contemplados na análise. Porém, uma avaliação completa da tecnologia SISPLAN deveria contemplar, além desses efeitos de transbordo, as externalidades ambientais derivadas da adoção dessa tecnologia.

## REFERÊNCIAS

AHRENS, S. **A concepção de regimes de manejo para plantações de pínus spp. no Brasil.** Curitiba: Embrapa-CNPF, 1987. 23 p. (Embrapa-CNPF. Circular técnica, 10).

AHRENS, S. **A seleção simultânea do ótimo regime de desbastes e da idade de rotação, para povoamentos de *Pinus taeda* L., através de um modelo de programação dinâmica.** 1992. 189 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ALENCAR, J. R. de. **Evaluación del cambio tecnológico en pínus**: una aplicación en la Región Sur de Brasil. 1999. 186 f. Tesis (Doctoral) - Universidad de Córdoba, Córdoba. España.

ALSTON, J. M.; NORTON, G. W.; PARDEY, P. G. **Science under scarcity**: principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting. Ithaca: Cornell University Press, 1995. 513 p.

ANTONANGELO, A. **As inovações tecnológicas na silvicultura brasileira e seus impactos sobre a expansão desta atividade**. 1997. 173 f. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BACHA, C. J. C. **A dinâmica do desmatamento e do reforestamento no Brasil**. 1993. 230 f. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BNDES. **Papel e celulose de mercado**: diagnóstico da competitividade brasileira, relato setorial. Brasília, DF, 1995. 33 p. (Área de Operações Industriais, 1).

ECHEVERRÍA, R. G. (Ed.) **Methods for diagnosing research systems constraints and assessing the impact of agricultural research**. The Hague: ISNAR, 1990. v. 2. (Assessing the impact of agricultural research).

GRILICHES, Z. Research costs and social returns: hybrid corn and related innovations. **Journal of Political Economy**, Chicago, v. 66, p. 419-431, 1958.

HERRUZO, A. C. Una aproximación a la economía de la investigación forestal. In: CONGRESO FORESTAL HISPANO LUSO, 1., 1997, Pamplona. [**Anais...**]. Pamplona: Gráficas IRATI, 1997. t. 4, p. 413-418.

HUANG, Y. S.; TEETER, L. An economic evaluation of research on herbaceous weed control in southern pine plantations. **Forest Science**, Washington, v. 36, n. 2, p. 313-319, 1990.

HYDE, W. F. **Timber supply, land allocation, and economic efficiency**. Baltimore: J. Hopkins University Press, 1980. 224 p.

HYDE, W. F.; NEWMAN, D. H.; SELDON, B. J. **The economic benefits of forestry research**. Iowa: Iowa State Press, 1992. 249 p.

Impactos econômicos da pesquisa e desenvolvimento de um sistema informatizado para...

JOHANSSON, P. O.; LÖFGREN, K. G. **The economics of forestry and natural resources**. Oxford: Basil Blackwell, 1985. 292 p.

KULA, E. **The economics of natural resources, the environment and policies**. 2. ed. London: Chapman & Hall, 1994. 287 p.

MANSFIELD, E. **Industrial research and technological innovation: an econometric analysis**. New York: W. W. Norton, 1968. 235 p.

McKENNEY, D. W. **Tree improvement economics: a case study comparing a black spruce rooted cuttings programs with a seed orchard program**. Ghelph: University of Ghelph, 1986. MSc Thesis.

McKENNEY, D. W.; BEKE, N.; FOX, G.; GROOT, A. Does it pay to do silviculture research on a slow growing species? **Forest Ecology and Management**, Madison, v. 95, n 2 p. 141-152, 1997.

McKENNEY, D. W.; DAVIES, J. S.; TURNBULL, J. W.; SEARLE, S. D. Impact of Australian tree species selection research in China: an economic perspective. **Forest Ecology and Management**, Madison, v.60, n.1/2, p. 59-76, 1993.

McKENNEY, D. W.; FOX, G.; VUUREN W. VAN. An economic comparison of black spruce and jack pine tree improvement. **Forest Ecology and Management**, Madison, v. 50, n. 1/2, p.85-101, 1992.

MELLO, A. A. **Planejamento de uma empresa florestal considerando a manutenção do estoque de carbono**. 2004. 115 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

OLIVEIRA, E. B. **Um sistema computadorizado de prognose do crescimento e produção de pínus taeda L., com critérios quantitativos para a avaliação técnica e econômica de regimes de manejo**. 1995. 133 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

OLIVEIRA, E. B. Introdução ao uso de programas de computador em decisoes gerenciais no manejo de pínus sistema SISPLAN. In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL, 1., 1997, Colombo. **Tópicos em manejo florestal sustentável**. Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1997. p. 209-220.

RENNER, R. M. **Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. 2004. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

J. R. de Alencar et al.

ROMERO, C., RÍOS, V., DÍAZ-BALTEIRO, L. Optimal forest rotation age when carbon captured is considered: theory and applications. **Journal of the Operational Research Society**, Hampshire, v. 49, n. 2, p. 121-131, 1998.

SAMUELSON, P. A. Economics of forestry in an evolving society. **Economic Inquiry**, Oxford, UK, v. 14, p. 466-492, 1976.

SCHULTZ, T. W. **The Economic Organization of Agriculture**. New York: McGraw-Hill Book Co, 1954. 374 p.

SMITH, V. H.; PARDEY, P. G. Sizing up social science research. **American Journal of Agricultural Economics**, University Park, PA. v. 79, n. 5, p. 1530-1544, 1997.