

Árvores Geneticamente Modificadas na Silvicultura Intensiva

Fotos e Ilustrações cedidas pelos autores

Uma agenda positiva de pesquisa sobre os impactos de árvores geneticamente modificadas no meio ambiente

INTRODUÇÃO

Desde 1885, quando Louis Pasteur fez grandes avanços sobre a fermentação do açúcar, a questão da natureza e modo de ação das enzimas para a solução de problemas começou a ser elucidada, dando início a enzimologia e ao estudo de proteínas. Após este período, as ciências biológicas e especialmente as áreas ligadas a genética e a biologia molecular vêm se desenvolvendo a uma velocidade cada vez maior. Com o postulado de Watson-Crick sobre a estrutura do DNA em 1953, e os trabalhos de seqüenciamento de nucleotídeos, reconhecido com um prêmio Nobel a Fred Sanger na década seguinte, deu-se início a uma nova era da ciência – a era da genômica. A partir deste período os trabalhos na área da genética e bioquímica migraram para a chamada Biologia Molecular, originando ainda a Engenharia Genética, ou seja a alteração direta do material genético através de processos físicos e biológicos. Atualmente são raros os trabalhos científicos envolvendo fisiologia, bioquímica e genética que não usem ferramentas da biologia molecular para a explicação de eventos e processos biológicos. É neste contexto que se insere a Biotecnologia moderna.

O conceito amplo de Biotecnologia se pauta “ na aplicação em grande

escala, ou transferência para indústria, dos avanços científicos e tecnológicos, resultantes de pesquisas em ciências biológicas”. Porém atualmente entende-se por biotecnologia o uso de organismos vivos (ou suas células e moléculas) para produção racionalizada de substâncias, gerando produtos comercializáveis. A biotecnologia moderna também pode ser ainda definida como o grupo de tecnologias que implicam na modificação direta do genoma de um organismo alvo pela introdução intencional de fragmentos de DNA exógenos, e que possuem uma função conhecida. A partir daí o gene que contém as informações para a síntese de uma proteína, a qual por sua vez esta inserida no mapa metabólico da síntese de uma molécula de interesse, pode ser transferido para outro organismo que então produzirá grandes quantidades da substância e/ou expressará as características desejadas. Diversos exemplos de produtos que têm sido produzidos pela biotecnologia moderna são conhecido, por exemplo: a) interferon humano (substância natural sintetizada no organismo humano para defesa contra vírus), b) insulina humana, c) hormônios de crescimento humano, d) plantas resistentes a vírus, e) plantas tolerantes a insetos e f) plantas resistentes a herbicidas. Outro uso importante da biotecnologia é a produção de bactérias, utilizadas para biodegradação de vazamentos de óleos ou lixos tóxicos, ou

Di Ciero, Luciana,
Doutora, Pesquisadora, ESALQ– USP,
E-mail: ldctleme@terra.com.br;

Amaral, W.,
PhD, Professor, ESALQ– USP,
E-mail: wanamara@esalq.usp.br

Tabela 1 . Características florestais que podem ser melhoradas através da combinação de métodos clássicos de melhoramento com novas ferramentas moleculares

Silvicultura	Adaptabilidade	Qualidade da madeira
Taxa de crescimento	Tolerância a seca	Densidade da madeira
Eficiência nutricional	Tolerância ao frio	Redução de lignina
Forma do fuste	Resistência a fungos	Extração de lignina
Controle de florescimento	Resistência a Insetos	Qualidade de fibra
Tolerância a herbicida		

Fonte: Adaptado de Sedjo, A. R. Biotechnology and planted forests: assessment of potential and possibilities, Discussion Paper 00-06, RFF 1999. <http://www.rff.org>

como produtoras de aromatizantes e outros produtos para a indústria alimentícia.

A biotecnologia moderna tem sido largamente utilizada em agricultura e florestas, contribuindo para aumento da produtividade e/ou, como ferramenta para resolver problemas de nutrição humana, diminuindo custos de produção, bem como produzindo materiais genéticos adaptados para condições adversas de clima e solo através de cultivares tolerantes à estresses hídricos e nutricionais e resistentes a pragas e doenças. Com o advento do desenvolvimento da biotecnologia e especialmente com a produção de organismos geneticamente modificados, também verifica-se o desenvolvimento de medidas de segurança e de normas para pesquisa e uso comercial destes organismos e seus derivados. Essas medidas de segurança, ou seja o conjunto de ações voltadas para a prevenção, minimização ou eliminação de riscos inerentes às atividades de pesquisa, produção, ensino, desenvolvimento tecnológico e prestação de serviços, visando à saúde do homem, dos animais, a preservação do meio ambiente e a qualidade dos resultados” é chamada de biossegurança (Teixeira & Valle, 1996).

O Brasil estabeleceu por meio de legislação específica, normas de biossegurança para regular o uso de engenharia genética e a liberação no meio ambiente de organismos modificados por essa técnica. Essas normas estão regulamentadas pela lei no. 8974, sancionada em 05/01/1995 e regulamentada pelo Decreto Lei no. 1752 de 20/

12/1995. Este decreto além de regulamentar a Lei de Biossegurança, dispõe sobre a vinculação, competência e composição da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança - CTNBio, que integra a estrutura do MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Esta comissão é composta por representantes do Executivo, do setor empresarial que atua em biotecnologia, de representantes de consumidores e do órgão legalmente constituído de proteção à saúde do trabalhador. Em resumo, a CTNBio tem o propósito de avaliar os riscos a utilização de transgênicos no Brasil, porém não sendo um órgão de caráter normativo.

Em recente reunião do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), ocorrida em 12 de Junho de 2002, foram retirados da CTNBio os poderes para dispensar produtos transgênicos do licenciamento prévio, porém a Advocacia-Geral da União (AGU) reconheceu o poder conclusivo da CTNBio nas análises sobre repercussões dos transgênicos à saúde humana e ao meio ambiente.

CULTURAS TRANSGÊNICAS NO BRASIL

No contexto global sobre o uso culturas transgênicas, o Brasil tem assumido uma posição de cautela em relação a maioria dos países industrializados, incluindo EUA, a maioria dos países da Europa e o Japão. Este postura cuidadosa pode a priori ser considerada uma desvantagem para o setor agrícola exportador brasileiro, porém ainda não existem dados disponíveis

provando as reais vantagens competitivas do uso destas tecnologias para o país, considerando as restrições que começam a ser impostas pelos compradores, principalmente pelos países da Comunidade Européia. Um estudo feito pelo pesquisador da EMBRAPA TRIGO Erivelton Roman, mostrou que, considerando o preço por quilo da semente transgênica a US\$ 1,15, a estimativa de custo da tecnologia (herbicida e semente) por hectare, no Brasil, seria de US\$ 69,50 para a soja transgênica e US\$ 70 para a convencional, ou seja barateando o custo de produção em US\$ 0,50, o qual seria muito interessante para grandes áreas, o que vem a ser muito comum no Brasil Central. Porém esta vantagem econômica ainda não incorpora a possibilidade da soja não transgênica receber preços maiores no mercado, ou alternativamente, a soja transgênica receber um desconto para comercialização no exterior.

O Brasil tem adotado uma política de biossegurança, analisando caso-a-caso os pedidos de liberação de plantio de OGMs. O fato da CTNBio ter dado o parecer favorável ao pedido de liberação da comercialização pela Monsanto de sementes de soja transgênica resistente a herbicidas sem estudos de impacto ambiental prévio. Este fato catalizou um grande e tardio debate pela opinião pública sobre OGMs, acompanhado de uma batalha judicial para barrar a sua liberação no ambiente, principalmente liderado por organizações não-governamentais, a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), o Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC) e Greenpeace permanecendo sob judicío até recentemente, quando a Monsanto ganhou em primeira instância. Porém por enquanto, os agricultores brasileiros não têm permissão oficial para plantar qualquer cultura transgênica. Países em desenvolvimento com a política de biossegurança semelhante a do Brasil incluem Quênia e Índia, segundo Relatório publicado pelo IFPRI em 2000 (International Food Policy Research Institute). Este relatório aponta a China como o país mais permissivo nesta área em relação aos outros três analisados, já tendo produ-

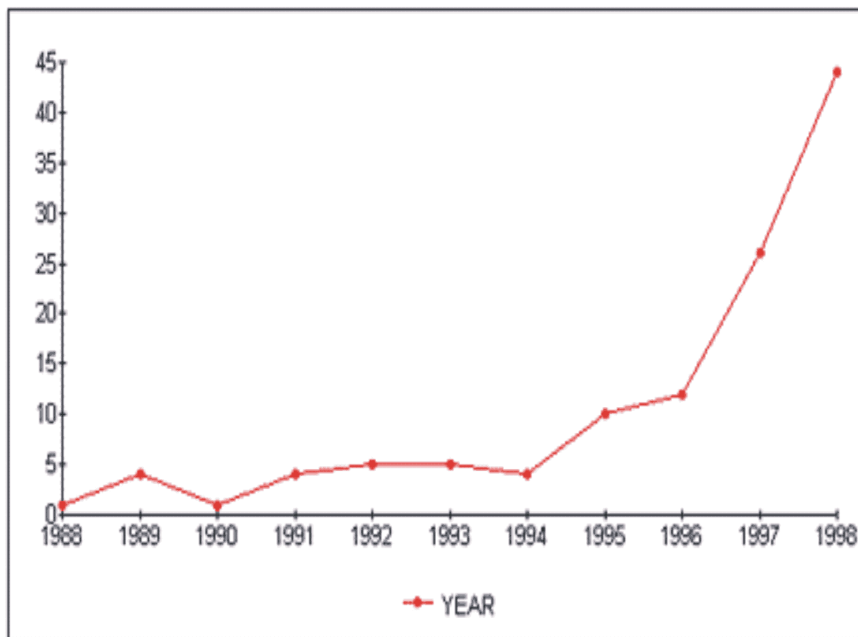


Figura 1 . Número de liberação de novas espécies de árvores geneticamente modificadas

Fonte: <http://www.panda.org/resources/publications/forest/gm/gm-forestry.html#box1>

poucos genótipos geneticamente modificados por afetar este balanço.

b) Enquanto há diversos tipos de ecossistemas florestais, a maioria deles são marcadamente diferentes daqueles tipicamente usados para a produção agrícola em países em desenvolvimento. O uso de insumos (fertilizantes e agroquímicos) em plantios florestais é relativamente mais baixo, por outro lado o nível de diversidade biológica nestes ecossistemas é muito alto. A manutenção da diversidade para muitas espécies não cultivadas é freqüentemente um objetivo importante e é considerado para o desenvolvimento sustentado de florestas, enquanto que os objetivos de manejo para a maioria dos ecossistemas agrícolas consideram qualquer outra planta como plantas invasoras. As interações entre espécies florestais são, relativamente muito mais complexas que aquelas em sistemas agrícolas, onde a abundância de espécies e a distribuição são normalmente altamente regulados. Nos ecossistemas agrícolas, as decisões de manejo são geralmente feitas em base de campo-a-campo, e os benefícios resultantes para uma cultura particular são pouco afetados pelo manejo de campos vizinhos. A situação em floresta é freqüentemente um pouco diferente, onde as decisões de manejo devem ser integradas dentro de um sistema florestal.

c) A variação genética dentro de espécies tem, por séculos, fornecido um pool de genes rico que os melhoristas têm manipulado e reunido para melhorar a produção e qualidade das culturas. Trabalhando-se com espécies altamente domesticadas, os agricultores geralmente visam o potencial do pool de gene restante que é acessível através da transferência sexual que é às vezes limitado. Por outro lado considera-se que a tecnologia de transferência de genes entre espécies via engenharia genética pode romper estas limitações. Embora estes métodos convencionais de melhoramento

tos GM liberados para o plantios comerciais desde 1997.

DIFERENÇAS ENTRE ESPÉCIES AGRÍCOLAS E FLORESTAIS E O USO DAS NOVAS FERRAMENTAS BIOTECNOLÓGICAS

O uso da técnica de DNA recombinante em espécies florestais seguiu muito de perto os avanços em pesquisa agrícola. Embora o uso da técnica de engenharia genética em árvores tenha derivado do desenvolvimento desta técnica em sistemas modelo e a partir de espécies agrícolas, o plantio de espécies arbóreas geneticamente modificadas introduz novas circunstâncias de manejo e preocupações ambientais. A biologia de espécies florestais difere de espécies agrícolas em diversos aspectos que devem ser levados em conta para avaliação de riscos:

a) Espécies florestais são organismos com ciclos de vida longos, grande porte e essencialmente não domesticados. Por outro lado, espécies agrícolas têm sido cultivadas e selecionadas por séculos e milênios. O processo de domesticação

normalmente leva a perda de características que são importantes para a planta se estabelecer no ambiente natural. Como resultado, espera-se que a variedade transgênicas destas culturas reduza a propensão por invasividade em habitats naturais. Entretanto, em espécies arbóreas, os ciclos de vida são muito mais longos que para a maioria das espécies agrícolas, e as condições ambientais não são bem controladas, desta forma árvores depararam-se repetidamente com estresse ambiental, extremos climáticos e flutuação nas pressões de uma série de pragas e doenças. As populações florestais exibem grande diversidade, e freqüentemente crescem sob condições variadas de local e em muitas associações ecológicas diferentes. No seu ambiente natural, tais espécies são relativamente bem adaptadas e altamente competitivas em ecossistemas complexos, além de manter altos níveis de diversidade genética. O papel da reprodução sexuada garante que as populações plantadas mais se assemelhem as populações nativas que as culturas agrícolas. O uso de

Tabela 2 . Espécies de árvores geneticamente modificadas liberadas entre os anos de 1988 a 1998

Nome vulgar (em inglês)	Nome científico	Ano de liberação
European aspen	<i>Populus tremula</i>	1988
American black walnut	<i>Juglans nigra</i>	1989
Apple	<i>Malus domestica</i>	1991
European sweet chestnut	<i>Castanea sativa</i>	1992
Plum	<i>Prunus domestica</i>	1992
Red River gum	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1993
Black spruce	<i>Picea mariana</i>	1993
Sweetgum	<i>Liquidambar styraciflua</i>	1994
European black poplar	<i>Populus nigra</i>	1995
Silver birch	<i>Betula pendula</i>	1996
American chestnut	<i>Castanea dentata</i>	1996
Sweet orange	<i>Citrus spp.</i>	1996
Tasmanian blue gum	<i>Eucalyptus globulus</i>	1996
Norway spruce	<i>Picea abies</i>	1996
Scots pine	<i>Pinus sylvestris</i>	1996
Acacia mangium	<i>Acacia mangium</i>	1997
Monterey pine	<i>Pinus radiata</i>	1997
Teak	<i>Tectona grandis</i>	1997
Flooded gum	<i>Eucalyptus grandis</i>	1998
Olive	<i>Olea europea</i>	1998
Eastern cottonwood	<i>Populus deltoides</i>	1998
Quaking aspen	<i>Populus tremuloides</i>	1998
Cherry	<i>Prunus avium</i>	1998

têm levado a rápida domesticação e o melhoramento das espécies agrícolas, ela é muito lenta e cara quando diretamente aplicada para espécies florestais. Os ganhos devidos ao melhoramento em espécies florestais tem sido reportados como relativamente restritos, não somente pela necessidade de seleção dentro de um imenso pool de genes disponível, mas pelo tempo e custo necessários para manipular genes selecionados dentro das populações de melhoramento. Por outro lado, os melhoristas florestais têm sido rápidos em usar qualquer nova tecnologia que melhore a sua taxa de progresso: tratamentos para estimular o florescimento precoce, aumenta na eficiência estatística de campos de teste e previsão dos ganhos de melhoramento, seleção assistida por marcadores de seleção, etc.

POTENCIAL DAS NOVAS FERRAMENTAS BIOTECNOLÓGICAS EM SILVICULTURA INTENSIVA

No âmbito florestal, as novas ferr-

mentas biotecnológicas devem combinar o desenvolvimento de árvores superiores com métodos clássicos de melhoramento e possibilitar a multiplicação em larga escala do material genético melhorado a partir de seleção genotípica. O melhoramento florestal clássico é freqüentemente visto como uma condição prévia para a utilização efetiva de técnicas sofisticadas de biotecnologia tais como a engenharia genética. Na agricultura por exemplo, foram necessárias muitas décadas de melhoramento clássico antes da transferência de genes via engenharia genética. Na área florestal, considera-se que a tecnologia de transferência de genes pode contribuir para minimizar as limitações intrínsecas do melhoramento de espécies arbóreas, tais como o longo tempo para obtenção de novas gerações e a grande variabilidade existente entre e dentro de espécies, que de um lado é uma das grandes vantagens das plantações florestais, e ao mesmo tempo exige grandes esforços para seleção dos melhores materiais.

Em plantações florestais para fins industriais, busca-se normalmente aumento nas taxas de crescimento, resis-

tência a pragas e doenças, tolerância a herbicidas, adaptabilidade às condições climáticas e de solo, forma da árvore e qualidade de fibra (Tabela 1). Porém dentro de um contexto de sustentabilidade a longo prazo das plantações florestais, novas preocupações devem surgir, principalmente quanto a manutenção da produtividade florestal ao invés da busca constante de aumentos de produtividade.

Paralelamente, além de assegurar o estabelecimento, a sobrevivência, e o crescimento rápido dos genótipos, os programas de melhoramento de árvores focalizam também na qualidade de madeira.

No setor florestal, o número de espécies modificadas geneticamente liberadas no ambiente aumentou 45 vezes (Fig. 1), divididas em 24 espécies geneticamente modificadas (Tabela 2). Atualmente no Brasil desenvolve-se dois projetos genoma de *Eucalyptus*, um financiado por um consórcio entre a FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) e iniciativa privada e outro financiado por um consórcio entre o Governo Federal e iniciativa privada, utilizando-se duas estratégias diversas,

uma baseada em sequenciamento de sequências expressas (EST: Expressed Sequence Tags) e o outro baseado uso de marcadores moleculares para localização de genes e QTLs através uma rede de experimental de clones instalados em diferentes regiões do Brasil.

POTENCIAIS RISCOS AMBIENTAIS RELACIONADOS A USO DE ÁRVORES GENETICAMENTE MODIFICADAS

Os potenciais impactos ambientais do uso de organismos geneticamente modificados devem levar em conta diversos fatores, tais como: técnicas usadas para transformação, gene(s) transferido(s), espécie transformada, localização geográfica da liberação do OGM no meio ambiente, a biodiversidade da região, distâncias filogenéticas entre a espécie modificadas e outras espécies presentes no ambiente, características fenotípicas e ecológicas da planta e espécies relacionadas, entre outros. De acordos com estes fatores, os impactos podem ser classificados em diretos e indiretos.

Impactos Diretos

Impactos diretos são aqueles relacionados diretamente ao organismo modificado geneticamente ou seu alvo de ataque. No contexto florestal para os principais genes de interesse citados acima, os impactos diretos podem ser:

a) Interações químicas com organismos vivos, por exemplo para genes ligados a tolerância a insetos:

- Efeitos não alvo de resistência a inseticidas
- Destino e Conseqüências de toxinas inseticidas no solo

b) Mudanças na persistência ou invasividade da cultura

- Aumento da persistência no habitat
- Invasão em habitats naturais

c) Fuga de genes

- Transferência de tolerância a herbicidas para ervas daninhas
- Transferência de tolerância a es-

trêsse biótico ou abiótico a ervas daninhas ou espécies alimentícias

- Transferência sexual de genes de árvores geneticamente modificadas com resistência a antibiótico para microorganismos patogênicos, vindo de árvores geneticamente modificadas com genes de resistência a antibióticos na construção
- Fuga de genes de herbicidas em progênes sexuais a árvores em ambientes onde aquelas árvores são indesejáveis e onde o herbicida alvo é usado
- Dispersão de transgene para populações nativas ou daninhas, com impactos potencialmente negativos de Árvores geneticamente modificadas não-estéreis ou daquelas com esterilidade instável ou incompleta.

Algumas evidências indicam que sob condições experimentais, culturas transgênicas podem hibridizar com espécies ou sub-espécies relacionadas, um pré-requisito para introgressão gênica.

Há 4 elementos básicos que determinam a possibilidade e conseqüências da fuga de genes desse modo:

1. A distância do movimento de pólen das culturas transgênicas;
2. A sincronia do florescimento entre o doador e o receptor de pólen;
3. A compatibilidade sexual entre as espécies;
4. A ecologia das espécies receptoras.

Estes são portanto alguns dos fatores que devem estudados em programas de pesquisa sobre os impactos ambientais de árvores geneticamente modificadas. Infelizmente muitas destas informações básicas não estão disponíveis, e portanto devem ser obtidas para cada espécie a ser modificada.

Impactos Indiretos

Os impactos indiretos estão associados aos riscos potenciais para os diferentes componentes do ecossistema florestal:

a) Redução da eficiência de controle de pragas, doenças e ervas daninhas

- Desenvolvimento de ervas dani-

nhas tolerantes a herbicidas por evolução e seleção de dentro do pool de genes da erva daninha - As ervas daninhas resistentes a herbicidas podem se desenvolver dentro de populações de ervas daninhas continuamente pulverizadas com o mesmo herbicida.

- Desenvolvimento de resistência a toxina Bt em pragas
- Mudanças na integridade estrutural, adaptação e resistência a pragas das árvores, taxa de biomassa e estrutura do solo, biologia e fertilidade, vindo de árvores geneticamente modificadas com modificações químicas de lignina

b) Efeito na Biodiversidade nativa

- Redução da biodiversidade de organismos dependentes de flores e frutos pelo uso de árvores geneticamente modificadas
- Efeitos deletérios em inimigos naturais das pragas alvo
- Efeito deletério em insetos não-alvo como borboletas, insetos polinizadores e microorganismos do solo, vindo de árvores geneticamente modificadas com resistência a insetos.

c) Efeitos no solo

- Mudanças nos padrões de distribuição e abundância da mesofauna

Convém ressaltar que estes impactos (a, b e c) também podem ocorrer normalmente em plantações não transgênicas. Desta forma as análises dos impactos indiretos devem ser feitas levando-se em consideração as linhas de base das práticas de implantação e manejo florestal adotadas em larga escala.

d) Outros impactos

- Potencial instabilidade das construções transgênicas dentro dos processos ontogenéticos das árvores
- Redução da diversidade genética pelo uso de um ou poucos clones
- Persistência por longo período dos impactos devido ao longo ciclo de vida das espécies florestais
- Dificuldade de mitigar os escapes de genes e reverter os danos po-

tenciais

- Dificuldade em prever as consequências em ecossistemas complexos, devido a falta de linhas de base apropriadas

RISCOS POTENCIAIS ESPECÍFICOS A MUDANÇAS QUÍMICAS NA MOLÉCULA DE LIGNINA

As modificações genéticas para reduzir o conteúdo de lignina na madeira, ou alterar sua estrutura química são usados para aumentar a qualidade e eficiência da polpa e diminuir os efluentes industriais. A lignina é o principal componente estrutural da parede celular das células vegetais, e confere força, rigidez e impermeabilidade a água.

A transformação com genes de modificação de lignina pode levar a efeitos colaterais não intencionais os quais podem trazer implicações ecológicas. Por exemplo, a alteração de enzimas envolvidas em biossíntese pode resultar em muitos efeitos pleiotrópicos, particularmente quando são usados promotores que não forneçam expressão específica de xilema. Diferentes quantidades de lignina afetam ainda a habilidade de herbívoros em digerir material vegetal, e estas alterações pode afetar a nutrição e a taxa de crescimento de desfoliadores e pragas de madeira. Finalmente a lignina retarda a degradação da biomassa por microorganismos e deixa a decomposição de material sobre o solo mais lenta. As árvores geneticamente modificadas com modificação de lignina podem eventualmente desta forma afetar a estrutura e fertilidade do solo.

CONCLUSÕES

Nos últimos anos tem se observado que a grande maioria das empresas florestais no Brasil tem investido maciçamente em propagação vegetativa, conhecida como “clonagem” na terminologia usada em silvicultura intensiva. Concomitantemente verifica-se que a produção de árvores transgênicas será somente comercialmente atrativa caso estes genótipos geneticamente modificados possam ser propagados em larga escala e a baixos custos. Nos

tropicais, muitas espécies de *Eucalyptus*, *gmelina* e outras espécies folhosas, têm se mostrado de fácil propagação. Entretanto, muitas espécies não são propagadas facilmente quando o conteúdo genético é modificado, e o custo de propagação em larga escala tem se mostrado alto. Nestes casos, as árvores geneticamente modificadas, que combinem o melhoramento clássico e as novas ferramentas da engenharia genética, podem exigir um longo período de tempo antes que estas possam ser multiplicadas em larga escala. Nesta situação a utilização da transferência de genes limitaria o seu uso comercial devido aos altos custos e tempo exigidos. Em resumo, a capacidade da engenharia genética de inserir ou modificar genes alienígenas para prover as características desejadas em árvores superiores está diretamente associada ao sucesso de propagação de árvores superiores em larga escala e a baixo custo.

Apesar de existirem muitas expectativas quanto ao uso de engenharia genética em silvicultura intensiva, há muitas questões que devem ser resolvidas e melhor entendidas cientificamente. Já que uma das chaves para minimizar os impactos ambientais do uso de novas ferramentas biotecnológicas, passa pela compreensão dos sistemas biológicos envolvidos e suas interações com os fatores abióticos, em diferentes escalas e etapas dos sistemas de produção florestal e no desenvolvimento de pesquisas científicas interdisciplinares.

Literatura Consultada:

1. Advisory Committee on releases to the environmental (ACRE) subgroup on wider biodiversity issues. Guidance on the Assessment of the Impact on Wider Biodiversity from Proposed Cultivation of GM Crops. ACRE -<http://www.environment.detr.gov.uk/acre/>
2. Altieri, M. The environmental risk of transgenic crops: an agroecological assessment. (1998) <http://www.pmac.net/miguel.htm>.
3. Ammann, K.; Jacot, Y.; Al Mazyad, P.R. Field Release of Transgenic crops in Switzerland – An ecological risk assessment of vertical gene flow. <http://www.bats.ch/data/english/k3titel.htm>.
4. Bertolla, F.; Simonet, P. Horizontal gene transfers in the environment: natural transformation as a putative process for gene transfers between transgenic plants and microorganisms. *Research Microbiology*, 150: 375-384. (1999).
5. Burdon, R. D.; Walter C. Perspectives on risk in transgenic forest plantations in relation to conventional breeding and use of exotic Pines and Eucalyptus: viewpoints of practicing breeding and transformation scientists. *Proceedings of the First International Symposium on Ecological and Societal Aspects of Transgenic Plantations*, S. H. Strauss and H. D. Bradshaw, eds. College of Forestry, Oregon State University, pp124-137. (2001).
6. Crawley, M. J.; Brown, S. L.; Hails, R. S.; Kohn, D. D.; Rees, M. Biotechnology: transgenic crops in natural habitats. *Nature*, 409: 682-683. (2001).
7. Dale, P. J.; Clarke, B.; Fontes, E. M. G. Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature Biotechnology*, 20: 567-574. (2002).
8. Daniell, H. Molecular strategies for gene containment in transgenic crops. *Nature Biotechnology* 20: 581-586. (2002).
9. European Federation of Biotechnology. Biodiversity: the impact of Biotechnology. Briefing paper 11. (2001).
10. FAO. Biosecurity in Food and Agriculture: Scope and Relevance. (2002)
11. FAO. Information Access and Exchange: A Cornerstone for Food Safety, Animal and Plant Health in Food and Agriculture. (2002).
12. Forest Stewardship Council. GMOs: Genetically Modified organisms. (2000) <http://www.gaaget.org/forests/fscpolicy.html>.
13. Gaugitsch, H. Experience with environmental issues in GM crop production and the likely future scenarios. *Toxicology Letters*, 127:351-357. (2002).
14. Gene Watch. Designer Forests – The development of GM Trees.

- GeneWatch UK Briefing 16. (2001).
15. Hails, R. S. Assessing the risks associated with new agricultural practices. *Nature*, 418:685-688. (2002).
 16. Harding, K. Biosafety of selectable marker genes. Binas Online. (2002) BINAS - <http://binas.unido.org/binas/>
 17. Hathaway, S. Risk analysis in biosecurity for food and agriculture. New Zealand Food Safety Authority. (2002).
 18. Hayes, J.P. Biodiversity Implications of Transgenic Plantations. Proceedings of the First International Symposium on Ecological and Societal Aspects of Transgenic Plantations, S. H. Strauss and H. D. Bradshaw, eds. College of Forestry, Oregon State University, pp. 168-175. (2001).
 19. ICGEB. Assessment of the likely impact of biotechnology on biosecurity. International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology. (2002)
 20. Ingrassia, A. International and regional regulatory frameworks relevant biosecurity for food and agriculture. Expert Consultation on Biosecurity in Food and Agriculture. FAO, Roma, 10-13 de setembro. (2002).
 21. IPIGRI. GMOs in real life. International Plant Genetic Resources Institute. (2001). <http://www.ipigri.cgiar.org>.
 22. James, R. R.; DiFazio, S.P.; Brunner, A. M.; Strauss, S. H. Environmental Effects of Genetically Engineered Wood Biomass Crops. *Biomass and Bioenergy*, 14: 403-414. (1998).
 23. Jank, B.; Gaugitsch, H. Assessing the environmental impacts of transgenic plants. *TRENDS in Biotechnology*, 19, 371-372. (2001).
 24. Johnson, B.; Kirby, K. Potential impacts of genetically modified trees on biodiversity of forestry plantation: a global perspective. Proceedings of the First International Symposium on Ecological and Societal Aspects of Transgenic Plantations, S. H. Strauss and H. D. Bradshaw, eds. College of Forestry, Oregon State University, pp. 176-786. (2001). <http://wwwwfl.orst.edu/tgerc/iufro2001/eproced.pdf>.
 25. Kuiper, H. A.; Kleter, G. A.; Noordam, M. Y. Risks of the release of transgenic herbicide-resistant plants with respect to humans, animals, and environment. *Crop protection*, 19: 773-778. (2000).
 26. Lajolo, F. A questão da saúde nos alimentos geneticamente modificados. ANBIO. (2002). <http://www.anbio.org.br/>.
 27. Lowaars, N.; Nap, J-P; Visser, B.; Brandenburg, W. Transgenes in Mexican maize landraces – an analysis of data and potential impact. Report of the Plant Research International. (2002).
 28. Mayer, S. International Regulation and public acceptance of GM trees: demanding a new approach to risk evaluation. Proceedings of the First International Symposium on Ecological and Societal Aspects of Transgenic Plantations, S. H. Strauss and H. D. Bradshaw, eds. College of Forestry, Oregon State University, pp. 105-110. (2001). <http://wwwwfl.orst.edu/tgerc/iufro2001/eproced.pdf>.
 29. Merkle, S. A.; Dean, J. F. D. Forest tree biotechnology. *Current opinion in biotechnology*, 11:298-302. (2000).
 30. Mullin, T.J.; Bertrand, S. Environmental release of transgenic trees in Canada – potential benefits and assessment of biosafety. *The Forestry Chronicle*, 74: 203-219. (1998).
 31. Parker, I. M.; Kareiva, P. Assessing the risks of invasion for genetically engineered plants: acceptable evidence and reasonable doubt. *Biological Conservation*, 78: 193-203. (1996).
 32. Poppy, G. GM crops: environmental risks and non-target effects. *Trends in plant Science*, 5: 4-6. (2000).
 33. Projeto de Diretrizes para Avaliação de risco de impacto ambiental por OGMs. *Comunicação Pessoal*
 34. Raybould, A. F. Transgenes and Agriculture – going with the flow? *Trends in Plant Science*, 4: 247-248. (1999).
 35. Rodemeyer, M.; Banzhaf, W. H.; McCarter, K. S. *Biotech Branches Out: A Look at the Opportunities and Impacts of Forest Biotechnology*. Proceedings from a workshop sponsored by the Pew Initiative on Food and Biotechnology, The Society of American Foresters and The Ecological Society of America (2002).
 36. Sedjo, R. A. *Biotechnology and Planted Forests: Assessment of Potential and Possibilities*. Resources for the Future. (1999) <http://www.rff.org>.
 37. Snow, A. A. Transgenic crops – why gene flow matters. *Nature Biotechnology*, 20:542. (2002).
 38. Souza, L. *Biocologia: Uma visão Comparativa*. ANBIO. (2002). <http://www.anbio.org.br>.
 39. Strauss, S. H.; DiFazio, S. P.; Meilan, R. Genetically modified poplars in context. *The Forestry Chronicle*, 77:271-279. (2001).
 40. Strauss, S. H.; Knowe, S. A.; Jenkins, J. Benefits and risks of transgenic roundup ready® Cottonwoods. *Journal of Forestry*, 13: 12-19. (1997).
 41. Teixeira, P. & Valle, S. *Biossegurança: uma abordagem multidisciplinar*. Rio de Janeiro: Ed. Fiocruz, 1996.
 42. Thomas, J. Trends towards biosecurity in food and agriculture with special reference to national institutions. Expert Consultation on Biosecurity in Food and Agriculture. FAO, Roma, 10-13 de setembro. (2002).
 43. Tsafaris, S. A.; Hokkanen, H. M. T. Multidisciplinary assessment of transgenic crop plants. *Field Crops Research*, 45: 1-4. (1996).
 44. Whitfield, J. Tiny amounts of pollen travel far. *Nature Update*. (2002). <http://www.nature.com/nsu/020624/020624-10.html>.
 45. Wolfenbarger, L. L.; Phifer, P. R. The ecological Risks and Benefits of Genetically Engineered Plants. *Science*, 290: 2088-2093. (2000).