

ISSN 1678-0892

Dezembro, 2005

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 87

Avaliação de Impactos Ambientais – o caso do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras - SAAAT

Sergio Gomes Tôsto

Jesus Fernando Mansilla Baca

Marie Elizabeth Christine Claessen

Antonio Ramalho Filho

Elizabeth Santos Brandão

Julio Roberto Pinto Ferreira da Costa

Rio de Janeiro, RJ
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone:(21) 2179.4500

Fax: (21) 2274.5291

Home page: www.cnps.embrapa.br

E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Normalização bibliográfica: *Marcelo Machado de Moraes*

Revisão de Português: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Editoração eletrônica: *Pedro Coelho Mendes Jardim*

1ª edição

1ª impressão (2005): Online

Todos os direitos reservados.

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

Tôsto, Sergio Gomes.

Avaliação de impacto ambiental -- o caso do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras - SAAAT [recurso eletrônico] / Sergio GomesTôsto ... [et al.]. -- Dados eletrônicos. -- Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005.

(Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892 ; 87)

Modo de acesso: <http://www.cnps.embrapa.br>.

1. Impacto Ambiental. 2. Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras. 3. SAAAT. I. Baca, Jesus Fernando Mansilla. II. Claessen, Marie Elizabeth Christine. III. Ramalho Filho, Antonio. IV. Brandão, Elizabeth Santos. V. Costa, Júlio Roberto Ferreira da. VI. Embrapa Solos. VII. Título. VIII. Série.

CDD (21. ed.) 333.714

© Embrapa 2005

Sumário

1. Introdução	5
2. Descrição da Tecnologia.....	5
3. Descrição dos Componentes – Sub-componentes e Indicadores de Contribuição	11
4. Metodologia	24
5. Resultados e Discussão	39
6. Considerações Finais.....	41
7. Referências Bibliográficas	42

1. Introdução

As discussões sobre as questões ambientais nestas últimas décadas têm trazido grandes preocupações para a humanidade, devido ao fato de que esta vem se apropriando dos recursos naturais de forma desordenada, onde sua capacidade de regeneração está abaixo do nível de exploração. A avaliação de impactos ambientais, além da sua imposição legal, possui também razões de ordem econômica, social, ecológica e ética na busca de um meio ambiente saudável.

Conforme resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia (MIRRA, 1998).

Este trabalho foi desenvolvido por uma equipe de pesquisadores da Embrapa Solos com o objetivo de avaliar os impactos ambientais do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, buscando uma participação ativa dos usuários da tecnologia.

2. Descrição da Tecnologia

Este trabalho tem na sua estrutura básica a metodologia para “Avaliação da aptidão Agrícola das Terras”, desenvolvido por Ramalho Filho et al. (1978), a qual é aqui reproduzida na íntegra.

A Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola (Suplan) promoveu, em estreita colaboração com o então Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (atual Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, o desenvolvimento do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, com base no método à época utilizado pela Embrapa para interpretar levantamento de solos.

O método publicado pela primeira vez em 1978 pela Suplan em parceria com a Embrapa representou uma nova fase na evolução das classificações técnicas e tem sido, portanto, suscetível a modificações e aperfeiçoamentos indicados, naturalmente, pela prática de sua aplica-

ção e pelo desenvolvimento tecnológico. Esta formulação metodológica oficial da Embrapa, que continua sendo utilizada em trabalhos de interpretação de levantamentos, objetiva uma avaliação mais abrangente das potencialidades dos solos brasileiros.

Este documento trata do aprimoramento de um sistema metodológico para ser utilizado na avaliação da aptidão das terras em trabalhos de interpretação de levantamentos de solos. A necessidade de conhecer a disponibilidade das terras para o planejamento agrícola regional e nacional levou a Suplan, com a colaboração da Embrapa, a promover o desenvolvimento do presente método. Na primeira versão, tomou-se como base o método utilizado pelo SNLCS, o qual foi ampliado a fim de que a aptidão agrícola das terras possa ser avaliada para um número maior de alternativas de utilização como lavouras, pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação da flora e fauna. Embora esse método apresente flexibilidade, especialmente no que se refere à adoção de um ou mais níveis de manejo, seus aspectos foram tratados de forma abrangente, tendo em vista sua aplicação para diferentes áreas com diversidades físico-biológicas e variações do potencial econômico dentro do país. Basicamente, a aptidão das terras é definida através da comparação de suas condições agrícolas com os níveis estipulados para cada classe, de acordo com os três níveis de manejo considerados. Foram tomados como base, para a avaliação das condições agrícolas das terras, os fatores de limitação: deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização. Como produto final, um único mapa deve indicar o comportamento das terras diagnosticadas, em três níveis operacionais, para os diversos tipos de utilização indicados.

A interpretação de levantamento de solos é uma tarefa de mais alta relevância para utilização racional desse recurso natural, na agricultura e em outros setores que utilizam o solo como elemento integrante de suas atividades. Assim, podem ser realizadas interpretações para atividades agrícolas, classificando-se as terras de acordo com sua aptidão para diversas culturas, sob diferentes condições de manejo e viabilidade de melhoramento, através de novas tecnologias e, também, para outros fins, tais como: geotécnica, engenharia sanitária, engenharia rodoviária e ferroviária, etc. Ainda no campo das possibilidades de interpretação

de levantamentos de solos, podem ser consideradas as necessidades de fertilizantes e corretivos, possibilitando a avaliação da demanda potencial desses insumos em função da área cultivada do país.

Todas essas interpretações são elaboradas com base em classificações técnicas, com finalidades bem definidas que retratam o nível tecnológico do momento em que são feitas. Por isso, tanto a metodologia como as classificações em que são baseadas as interpretações podem ser substituídas e atualizadas à medida que os conhecimentos científicos e tecnológicos evoluem. Entretanto, os levantamentos de solos, baseados em classificações naturais, são de caráter bem mais duradouro, servindo de base a novas interpretações fundamentadas nos resultados mais atuais da pesquisa.

A necessidade de ampliar as indicações de opções de uso das terras para pastagens e exploração florestal, bem como indicações de áreas que devem ser preservadas, conduziu à modificação do sistema de interpretação da aptidão agrícola anteriormente utilizado. Por iniciativa da Suplan, juntamente com a Embrapa através do SNLCS (atual Centro Nacional de Pesquisa de Solos), foi publicada a primeira edição deste documento. De fato, o planejamento agrícola necessita de informações mais diversificadas sobre as possibilidades de uso das terras, para alcançá-lo em bases amplas, no nível dos conhecimentos tecnológicos já atingidos no país.

Assim, os grupos de aptidão agrícola admitidos por este método possibilitam a avaliação da aptidão agrícola das terras, não só para lavouras, mas também para pastagem plantada, silvicultura e pastagem natural, indicando ainda as áreas para esses tipos de utilização.

Grupo de aptidão agrícola

Trata-se mais de um artifício cartográfico, que identifica no mapa o tipo de utilização mais intensivo das terras, ou seja, sua melhor aptidão.

Os grupos 1, 2 e 3, além da identificação de lavouras como tipo de utilização, desempenham a função de representar, no subgrupo, as melhores classes de aptidão das terras indicadas para lavouras, conforme

os níveis de manejo. Os grupos 4, 5 e 6 apenas identificam tipos de utilização (pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação da flora e da fauna respectivamente), independente da classe de aptidão.

A representação dos grupos é feita com algarismos de 1 a 6, em escalas decrescentes, segundo as possibilidades de utilização das terras. As limitações, que afetam os diversos tipos de utilização, aumentam do grupo 1 para o grupo 6, diminuindo, conseqüentemente, as alternativas de uso e a intensidade com que as terras podem ser utilizadas, conforme demonstra a Figura 1.

Grupo de Aptidão Agrícola	Aumento da intensidade de uso					
	Preservação da flora e da fauna	Silvicultura e/ou pastagem natural	Pastagem plantada	Lavouras		
				Aptidão restrita	Aptidão regular	Aptidão boa
1	■	■	■	■	■	■
2	■	■	■	■	■	
3	■	■	■	■		
4	■	■	■			
5	■	■				
6	■					

Figura 1. Alternativas de utilização das terras de acordo com os grupos de aptidão agrícola.

Observa-se na Figura 1 que os três primeiros grupos são aptos para lavouras; o grupo 4 é indicado, basicamente, para pastagem plantada; o grupo 5 para silvicultura e/ou pastagem natural; enquanto o grupo 6, reunindo terras sem aptidão agrícola, não apresenta outra alternativa senão a preservação da natureza.

Para atender às variações que se verificam dentro do grupo, adotou-se a categoria de subgrupo de aptidão agrícola.

No caso deste método, poderiam ser indicadas as subclasses das classes de aptidão agrícola (regular, restrita e eventualmente inapta), especificando-se os seguintes fatores de limitação mais significativos das terras (Tabela 1).

Tabela 1. Fatores de limitação das terras.

Símbolo	Fator de limitação
f	Deficiência de fertilidade
h	Deficiência de água
o	Excesso de água ou deficiência de oxigênio
e	Suscetibilidade à erosão
m	Impedimentos à mecanização

Na medida em que o nível de estudo exigisse, e em função de maiores conhecimentos, outros fatores de limitação poderiam ser introduzidos, como clima, salinidade, risco de inundação, profundidade efetiva do solo, etc.

Classe de aptidão agrícola

Uma última categoria constitui-se na tônica da avaliação da aptidão agrícola das terras neste método. São as classes de aptidão denominadas boa, regular, restrita e inapta, para cada tipo de utilização indicado.

Com base no boletim da FAO (1976), as classes foram assim definidas:

- **classe boa** - terras sem limitações significativas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando as condições do manejo considerado. Há um mínimo de restrições, que não reduz a produtividade ou os benefícios expressivamente, e não aumenta os insumos acima de um nível aceitável.
- **classe regular** - terras que apresentam limitações moderadas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando as condições do manejo considerado. As limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, elevando a necessidade de insumos, de forma a aumentar as vantagens globais a serem obtidas do uso. Ainda que atrativas, essas vantagens são sensivelmente inferiores àquelas auferidas das terras de classe boa.

- **classe restrita** - terras que apresentam limitações fortes para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando as condições do manejo considerado. Essas limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, ou então aumentam os insumos necessários, de tal maneira que os custos só seriam justificados marginalmente.
- **classe inapta** - terras apresentando condições que parecem excluir a produção sustentada do tipo de utilização em questão. Ao contrário das demais, esta classe não é representada por símbolos. Sua interpretação é feita pela ausência das letras no tipo de utilização considerado.

Em função dos graus de limitação atribuídos a cada uma das unidades das terras, resulta a classificação de sua aptidão agrícola. As letras indicativas das classes de aptidão, de acordo com os níveis de manejo, podem aparecer nos subgrupos em maiúsculas, minúsculas ou minúsculas entre parênteses, com indicação de diferentes tipos de utilização, conforme pode ser observado na Tabela 2.

A ausência de letras representativas das classes de aptidão agrícola, na simbolização dos subgrupos, indica não haver aptidão para uso mais intensivo. Essa situação não exclui, necessariamente, o uso da terra com um tipo de utilização menos intensivo.

Tabela 2. Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras.

Classe de aptidão agrícola	Tipo de utilização						
	Lavoura			Pastagem plantada	Silvicultura	Pastagem natural	
	Nível de manejo			Nível de manejo B	Nível de manejo B	Nível de manejo A	
	A	B	C				
Boa	A	B	C	P	S	N	
Regular	a	b	c	p	s	n	
Restrita	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)	
Inapta	-	-	-	-	-	-	

As terras consideradas inaptas para lavouras têm suas possibilidades analisadas para usos menos intensivos (pastagem plantada, silvicultura ou pastagem natural). No entanto, as terras classificadas como inaptas para os diversos tipos de utilização considerados são, como alternativa, indicadas para a preservação da flora e da fauna, recreação ou algum outro tipo de uso não-agrícola. Trata-se de terras ou paisagens pertencentes ao grupo 6, nas quais deve ser estabelecida ou mantida uma cobertura vegetal, não só por razões ecológicas, mas também para proteção de áreas contíguas agricultáveis.

3. Descrição dos componentes – sub-componentes e indicadores de contribuição

3.1. Eficiência Tecnológica

O aspecto de Eficiência Tecnológica refere-se à contribuição da tecnologia para a sustentabilidade da atividade agropecuária a montante do processo produtivo, representado pela adequação da utilização de insumos, sejam estes insumos tecnológicos ou naturais. Os indicadores de eficiência tecnológica são: (I) uso de agroquímicos, (II) uso de energia, e (III) uso de recursos naturais.

I. Uso de agroquímicos

Uma característica comum a toda atividade agropecuária é a busca de produção de excedentes que possam ser colhidos e utilizados para consumo na propriedade ou vendidos. Esta produção de excedentes faz-se à custa de nutrientes do solo, que devem ser repostos a uma taxa compatível com sua extração. Quando a atividade agropecuária é de intensidade tal que as taxas naturais de reposição de nutrientes do solo não são suficientes para repor sua extração pela colheita, estes devem ser aplicados na forma de fertilizantes. Por outro lado, com o intuito de maximizar a produção, quaisquer organismos que possam reduzir a produtividade são controlados com pesticidas. Estes produtos empregados para fertilização do solo e controle de organismos praga são genericamente denominados agroquímicos. Geralmente o uso de agroquímicos é considerado como sendo inversamente proporcional à sustentabilidade agropecuária, por dois motivos principais: primeiro por serem recursos externos à propriedade e terem um valor compara-

tivo alto, impondo assim um importante dreno de capital; segundo por terem alto potencial poluidor e causarem problemas de contaminação quando não empregados de forma adequada. Existe uma grande variedade de alternativas tecnológicas que contribuem para reduzir e racionalizar o uso de agroquímicos (PIMENTEL, 1998). Dentre as tecnologias de substituição de fertilizantes lista-se, por exemplo, as rotações de culturas, adubação verde, inoculação de microrganismos fixadores de nitrogênio atmosférico, inoculação de fungos micorrízicos que facilitam a absorção de fósforo, cultivo de plantas que favorecem estes microrganismos simbiotes, e técnicas de cultivo mínimo, como o plantio-direto na palha. Exemplos de tecnologias dirigidas à racionalização do uso de pesticidas incluem métodos físicos de controle, várias formas de controle biológico, técnicas especiais de aplicação (ultra-baixo volume e pulverização eletrostática, entre outras), uso de substâncias pouco tóxicas ou específicas como feromônios, plantio de variedades resistentes e combinações de tecnologias inseridas no contexto de manejo ecológico ou integrado de pragas (MIP).

I.a. Uso de pesticidas

Sob a denominação geral de pesticidas (praguicidas, agrotóxicos, biocidas, defensivos agrícolas) incluem-se milhares de substâncias das mais diversas classes químicas e toxicológicas, geralmente agrupadas segundo seu uso como inseticidas/acaricidas/nematicidas, fungicidas, herbicidas, esterilizantes de solo, rodenticidas e uma variedade de outros agentes de controle químico. Resíduos de pesticidas hoje ocorrem em todos os ambientes do planeta, e graves problemas ocupacionais e toxicológicos estão associados ao seu uso. Importantes avanços tecnológicos e de conscientização sobre estes problemas, contudo, têm sido observados nos últimos anos, e uma grande atenção tem sido dirigida à necessidade de racionalização do uso de pesticidas. Devido à enorme diversidade de classes químicas existentes e das possíveis interações físico-químicas com a água, o solo e matrizes biológicas, o estudo do comportamento ambiental dos pesticidas é extremamente complexo.

Frequência: a alteração na frequência do uso de pesticidas refere-se especificamente ao número de operações de aplicação, independentemente do tipo de produto utilizado.

I.b. Uso de fertilizantes

A manutenção e recuperação da fertilidade do solo é um dos aspectos fundamentais do desenvolvimento agrícola sustentável. A fertilidade do solo resulta da interação de fatores dinâmicos físicos, químicos e biológicos que, atuando sobre a matriz geológica ao longo do tempo e sob a influência do clima, condiciona a gênese e a evolução do perfil do solo. As atividades agropecuárias causam drásticas alterações no solo, como depleção química pela extração e exportação dos nutrientes contidos na produção ou lixiviados pelo excesso de água, ou degradação física resultante da erosão e oxidação da matéria orgânica. O adequado manejo do solo é essencial para a sustentabilidade agrícola, e deve envolver, de um lado, cuidados para evitar a erosão e a conseqüente perda de solo do perfil; e de outro, mecanismos para reposição dos nutrientes exportados na colheita ou perdidos devido à exposição e ao tempo. Em relação à avaliação de impactos de inovações tecnológicas, essas medidas de manejo do solo podem ser separadas segundo seu objetivo de evitar a degradação físico-química-biológica do solo (incluídas adiante no aspecto de Conservação Ambiental), e de repor a depleção química, que na maioria das vezes depende da aplicação de fertilizantes, e é aqui incluída no aspecto de Eficiência Tecnológica. Três categorias de insumos de fertilidade são os seguintes: *i)* NPK, *ii)* calagem e gessagem, *iii)* resíduos.

- *i)* NPK: os principais macronutrientes obtidos do solo necessários para o desenvolvimento vegetal são o nitrogênio, o fósforo e o potássio, que compõem as formulações dos fertilizantes mais comuns frequentemente utilizados nas culturas agrícolas em geral. Estes fertilizantes são formulados a partir de rochas fosfáticas e potássicas obtidas em depósitos minerais, e de processos químicos intensivos em energia para fixação do nitrogênio atmosférico e condicionados de forma a ficarem disponíveis na solução do solo para absorção pelas plantas. Assim, de um lado esses fertilizantes são recursos não renováveis de alto valor monetário relativo, e, de outro, devido à sua alta solubilidade, podem ser facilmente lixiviados e carreados para corpos d'água (superficiais ou subterâneos), onde comportam-se como poluentes. Dessa forma, o uso de NPK apresenta dupla inserção para avaliação de alteração do componente: de um lado, determina dependência de insumo ex-

terno à propriedade (caráter pouco relativo); e de outro determina potencial poluente de forte interação com múltiplas alternativas de manejo conservacionista, segundo o qual pequenas modificações comparativas podem ser importantes.

- *ii)* Calagem: no processo de formação do solo pode haver uma acidez natural decorrente da presença do alumínio no material de origem. A acidez também pode ser consequência da exposição do solo promovida pela remoção da vegetação nativa e das operações de aração e gradagem normalmente realizadas para cultivo devido à oxidação da matéria orgânica e à diminuição da capacidade de retenção de cátions pelo solo.
- Gessagem: A utilização do gesso nas atividades agrícolas, foi iniciada nos anos 70, para corrigir a acidez potencial do solo, como fonte de Ca e S e para a correção de solos salinos. Entretanto, a utilização inadequada de gesso pode promover impactos negativos.
- *iii)* Resíduos recicláveis orgânicos e inorgânicos: dependendo do classe de solo, o mesmo não tem capacidade de suporte para resíduos como lodo de esgoto, vinhaça (ex: gleissolos).

II. Uso de energia

O segundo indicador de Eficiência Tecnológica considerado no modelo é o Uso de Energia. O uso de energia é essencial em todas as etapas da produção agropecuária e envolve desde fontes naturais, como as energias solar e hidráulica, passando pela energia embutida nos insumos como fertilizantes, até o consumo mais evidente de combustíveis empregados nas operações mecanizadas.

Biomassa

Uma parte considerável da energia consumida no meio rural é geralmente suprida diretamente por combustão de biomassa. Além de ser uma fonte renovável de energia normalmente produzida na propriedade, quando bem planejada a queima de biomassa também oferece um destino valioso a excedentes de restos vegetais que muitas vezes não têm outra aplicação. Por outro lado, a extração de vegetação para produção de lenha acima da capacidade de suporte tem sido responsável por enorme degradação ambiental em muitas regiões do mundo, inclusive em extensas áreas do Brasil.

III. Uso de recursos naturais

Além do uso dos insumos tecnológicos providos pelo sistema econômico, mencionados acima, a produção agropecuária depende do uso de recursos naturais, considerados não simplesmente como base para locação ou sustentação das atividades, o que considera-se no aspecto de Conservação Ambiental, mas recursos incorporados diretamente ao processo produtivo como insumos, cujo uso é passível de alteração segundo a eficiência tecnológica. Nesse indicador, então, avalia-se a necessidade imposta pela tecnologia do uso de água para irrigação, água para processamento, solo para plantio e recursos minerais.

- **i) Água para irrigação:** ainda que restrito às atividades agrícolas de produção irrigada, o uso de água para irrigação é um importante componente do uso de recursos naturais no meio rural. O uso racional da água para irrigação implica, de um lado, a conservação desse recurso crescentemente escasso na maioria das regiões do país, e de outro, a eficiência do processo como um todo.
- **ii) Água para processamento:** o uso de água para processamento relaciona-se principalmente às atividades de pós-colheita e processamento da produção. Na maioria dos casos de produção agroindustrial, esse uso é não-consuntivo, mas muitas vezes resulta em comprometimento da qualidade da água. Essa alteração de qualidade, contudo, é considerada no aspecto de Conservação Ambiental e não deve ser avaliada neste componente para evitar dupla contagem.
- **iii) Solo para plantio (área):** em termos de eficiência tecnológica agropecuária, o uso do solo pode ser equiparado com produtividade. Com maior produtividade, menos área cultivada necessita ser incorporada ao processo produtivo, o que resulta em economias em toda sorte de insumos. Mais importante, reduz-se a pressão para ocupação de novas áreas, geralmente hoje compostas por áreas marginais ou habitats naturais nas regiões da fronteira de expansão da ocupação agropecuária.

3.2. Conservação Ambiental

Uma vez considerada a eficiência da inovação tecnológica sobre o uso de insumos, que representa sua contribuição para a sustentabilidade da atividade agropecuária a montante do processo produtivo, deve-se atentar para os impactos da inovação tecnológica a jusante, ou seja, a contaminação do ambiente pelos resíduos gerados pela atividade produtiva agropecuária e a depauperação dos habitats naturais e da diversidade biológica devido à adoção da tecnologia. Esses impactos são avaliados por indicadores de emissão de poluentes relacionados com o comprometimento potencial da qualidade ambiental dos compartimentos (I) atmosfera, (II) capacidade produtiva do solo, (III) água e pela perda de (IV) biodiversidade.

I) Atmosfera

Os impactos ambientais das atividades agropecuárias têm atingido tamanha grandeza e intensidade que recentemente vêm sendo incluídos nos inventários e projetos de investigação sobre as mudanças do clima planetário. Isto deve-se principalmente à contribuição das atividades agropecuárias para o aquecimento global da atmosfera, com a emissão de gases causadores do efeito estufa. Além desse impacto de escala global, as atividades agropecuárias frequentemente causam emissões de poeiras, odores e podem ainda gerar ruídos.

II) Capacidade produtiva do solo

A avaliação de impactos ambientais relativos ao compartimento solo não pode ser diretamente medida pela alteração dos parâmetros de qualidade, normalmente relacionados com determinação da fertilidade para fins agrícolas. Isso se deve ao fato de que a fertilidade do solo não é, necessariamente, equivalente à qualidade do ambiente. De fato, são comuns as situações nas quais solos férteis e produtivos estão inseridos em ambientes fortemente degradados, e vice-versa, muitos ambientes naturais de alto valor ecológico ocorrem em solos extremamente pobres e inférteis. Ainda assim, a qualidade do solo é um indicador fundamental da sustentabilidade das atividades agropecuárias, e deve ser inserida nas avaliações de impacto ambiental de tecnologias. Para tanto, pode-se associar ao indicador de qualidade do solo um condicionante de tempo e de intensidade, dependente das ações de

manejo, de acordo com o objetivo da avaliação (no caso presente o uso sustentável), de maneira que as alterações nas características químicas, físicas e biológicas do solo sejam enfatizadas, antes das características pedogenéticas.

- **Erosão:** a erosão é o principal fator de degradação do solo, especialmente em regiões tropicais sujeitas a chuvas torrenciais altamente erosivas. A erosão compromete a produtividade pela degradação da estrutura do solo e diminuição da uniformidade de condições agronômicas no campo cultivado, pela redução na capacidade de retenção de água e pela perda de nutrientes e matéria orgânica. É, portanto, um componente composto, que inclui outros componentes de avaliação de efeitos da tecnologia sobre a capacidade produtiva do solo. Por ser função de uma complexa interação de fatores ambientais e de manejo, que envolvem características de erodibilidade do solo, da declividade e extensão da pendente, da cobertura vegetal, da erosividade das chuvas e das práticas e medidas de controle, a erosão potencial é extremamente variável.
- **Teor de matéria orgânica:** a matéria orgânica é um condicionante essencial na dinâmica do solo com reflexos na fertilidade, na CTC, na estabilidade dos agregados do solo entre outros, ou seja, da capacidade de manter suas características físicas, químicas e biológicas quando submetido ao manejo agrícola. Especialmente em solos tropicais, mormente compostos por argilas fortemente hidrolizadas e oxidadas cuja capacidade de troca de cátions é restrita, a matéria orgânica exerce duplo papel: de condicionante químico, servindo como sítio de adsorção e troca de nutrientes, e de condicionante físico, como cimento para as partículas minerais do solo, contribuindo para sua estruturação e retenção de água. Ademais, a matéria orgânica é o substrato para desenvolvimento da biota do solo, responsável pela aeração do perfil e pela ciclagem dos nutrientes. A oxidação da matéria orgânica, devido à exposição do solo pela retirada da vegetação nativa e pelas operações de aração e gradagem, resulta em redução do conteúdo orgânico dos solos, perda de sua estrutura e da capacidade de retenção de nutrientes e água.

- **Teor de nutrientes:** este componente do indicador de capacidade produtiva do solo é relacionado com os componentes anteriores, e deve ser avaliado segundo informações analíticas dos níveis dos nutrientes para fins de fertilização e calagem, normalmente disponíveis na propriedade. Esta avaliação deve concentrar-se, contudo, na alteração da necessidade de aplicação de fertilizantes para reposição de perdas, excluindo possíveis mudanças devidas a exigências nutricionais ou características tecnológicas típicas de intensificação produtiva, anteriormente inseridas no componente NPK, do indicador de uso de agroquímicos, no aspecto de Eficiência Tecnológica. Com isto procura-se reduzir dupla contagem, embora deva-se admitir que total independência entre estes componentes e indicadores não existe. Na ausência de informações analíticas, solicita-se que o produtor/responsável avalie a extensão da perda de nutrientes segundo seu conhecimento sobre as características do solo local e sua experiência histórica de fertilização da área, ou sobre os efeitos do uso da tecnologia em avaliação.
- **Compactação:** o uso intensivo de máquinas pesadas e o sobrepastoreio são as principais causas da compactação do solo. Solos compactados dificultam a aeração e a condutividade da água, prejudicando a penetração das raízes e, conseqüentemente, impede que um maior volume de solo forneça nutrientes à planta, comprometendo fortemente a produtividade.
- **Disponibilidade de água no solo:** a disponibilidade de água no solo é importante na produtividade das culturas na medida em que condiciona o fluxo de nutrientes e da água. É função de determinadas características do solo, tais como textura, tipo de argila, estrutura, matéria orgânica e concentração de sais.

III) Água

A qualidade da água é possivelmente o indicador mais sensível dos impactos causados pelas atividades agropecuárias, pois praticamente toda inadequação do manejo resultará em conseqüências negativas sobre as águas, seja no ambiente imediato no qual desenvolve-se a atividade produtiva, seja no seu entorno. Nesse sentido, a avaliação de alterações na qualidade das águas tem um caráter composto, que

reflete as consequências de ações de manejo em geral e, portanto, não é possível tratar este componente como totalmente independente dos anteriormente mencionados, não só em relação ao aspecto de Conservação Ambiental, mas também quanto à Eficiência Tecnológica. Isso significa que é necessário ter em mente que uma certa dupla contagem ocorre quando as alterações da qualidade das águas são consideradas na avaliação de impactos ambientais da inovação tecnológica, mas isso é inevitável, dado o caráter sistêmico do ambiente. Uma outra consideração importante do caráter sistêmico da avaliação dos impactos das atividades agrícolas sobre as águas diz respeito à compartimentação das águas em duas unidades interrelacionadas e de igual importância, quais sejam, as águas superficiais e subterrâneas. Embora o estudo dessas unidades compreenda especificidades fundamentais, que são refletidas em todos os aspectos de consideração, desde legais, de vulnerabilidade, de manejo e de conservação, no presente sistema de avaliação somente os aspectos de qualidade das águas superficiais são explicitamente inseridos. Isto é devido à dificuldade de se obterem informações confiáveis, ao nível da propriedade rural no qual desenvolve-se este trabalho, sobre as alterações imediatas causadas diretamente por atividades de manejo, e implicadas nas mudanças causadas por inovações tecnológicas, na qualidade e quantidade das águas subterrâneas, tanto na escala de ocorrência pontual quanto local e no entorno. Ademais, considera-se, para efeito do sistema de avaliação proposto, que a continuidade sistêmica entre as águas superficiais e subterrâneas nas escalas de ocorrência consideradas permitem que o coeficiente de alteração aplicado aos componentes seguintes sejam suficientes para refletir os impactos da inovação tecnológica sobre a qualidade da água em geral. Os componentes são a turbidez, a sedimentação/assoreamento de corpos d'água, teor de sais, carbonatos e nitratos e recarga de aquíferos.

- **Turbidez:** representa a presença de sólidos em suspensão na água, sejam partículas ou colóides, orgânicos ou inorgânicos, sedimentáveis ou não. A turbidez reduz a penetração dos raios solares, comprometendo a fotossíntese, e implica dificuldades para filtração e desinfecção da água para uso, além de prejuízo estético. A turbidez pode ser medida de forma simples pela imersão de um objeto branco (o conhecido disco de Secchi) e medida da profundidade em que é observável. A turbidez obviamente é extremamente va-

riável segundo a tipologia do corpo d'água e as condições de momento (intensidade de chuvas, p.ex.) e de local. Assim, a avaliação dependerá sempre do conhecimento do produtor/responsável sobre as condições locais e devem ser baseadas na periodicidade de ocorrência.

- **Sedimentação/assoreamento:** este componente expressa as alterações da qualidade da água pela recepção de cargas de sedimento que pode resultar na degradação do ecossistema aquático. Este processo tem uma taxa de ocorrência que depende da tipologia e das condições de interação do ecossistema aquático com os ecossistemas terrestres limítrofes. Quanto mais equilibradas estas interações, no sentido de serem mínimas as trocas de energia entre os sistemas, mais estendido é o processo evolutivo de sucessão, refletindo melhores condições ambientais de manutenção do ecossistema aquático considerado. A avaliação desse componente reflete alterações na taxa de sucessão do ecossistema aquático, no sentido da sua degradação, causada pela sedimentação/assoreamento. Como este é um processo de longo termo relativo à avaliação do impacto ambiental de uma inovação tecnológica agropecuária, a avaliação necessariamente envolve o conhecimento, por parte do produtor/responsável, do histórico de evolução do ecossistema aquático na paisagem local.
- **Teor de sais, carbonatos e nitratos:** este componente reflete a concentração de sais, carbonatos e nitratos que quando presentes podem comprometer a qualidade da água, tanto para consumo humano e animal, quanto para usos com fins agrícolas.
- **Recarga de aquíferos:** é um processo natural que ocorre no ciclo hidrológico sendo influenciado por fatores climáticos (principalmente precipitação), tipo de cobertura vegetal, tipo de solo e da própria conformação geomorfológica da bacia de drenagem. A recarga dos aquíferos garante a perenidade dos recursos hídricos e, em última análise, a vida nos ecossistemas. O solo funciona como um filtro, uma vez que suas propriedades interferem na infiltração das águas pluviais para os aquíferos, mantendo equilíbrio nas vazões em função da sazonalidade das chuvas.

IV) Biodiversidade

A conservação da biodiversidade é hoje considerada um objetivo fundamental para o desenvolvimento sustentável e uma oportunidade para exercício do papel multifuncional do setor agropecuário, uma vez que a maior parte do estoque presente de diversidade biológica e cultural encontra-se em áreas sujeitas a algum nível de manejo agropecuário e florestal. As causas dos impactos das atividades agropecuárias sobre a biodiversidade envolvem desde a extensiva destruição de habitats naturais devido à expansão das áreas de fronteira agrícola, até os efeitos da degradação da qualidade ambiental por substâncias tóxicas e resíduos da intensificação agropecuária, bem como a homogeneização genética de plantas e animais de criação, das formas de manejo e até mesmo dos modos de vida tradicionais (RODRIGUES, 2001). A magnitude desses impactos é extremamente variável, mas todas as regiões do globo têm experimentado o resultado subjacente à perda de biodiversidade, que é o empobrecimento dos ecossistemas e a homogeneização cultural. As consequências desses impactos têm um alcance muito grande, pois uma parte importante das alternativas de manejo, da multifuncionalidade dos ambientes agropecuários e florestais, e da segurança ecológica e mesmo alimentar da humanidade apóia-se nesta biodiversidade. As contribuições da biodiversidade para a produção agropecuária equiparam-se com as oportunidades para conservação da biodiversidade pelo adequado manejo agropecuário e florestal, representando uma área importante para pesquisa e desenvolvimento de políticas de conservação, inclusive no nível internacional de acordos e convenções cooperativas (CAMPANHOLA et al., 1998).

- **Vegetação natural:** este componente endereça a necessidade, imposta pela legislação (destacando-se o Art. 2 da lei 4.771/65), de conservação de florestas e demais formas de vegetação natural de preservação permanente, incluindo topos de morros, terrenos com declividade superior a 45°, vegetação ciliar, etc.
- **Espécies endêmicas:** a profunda modificação imposta aos habitats naturais quando de sua ocupação para desenvolvimento de atividades agropecuárias necessariamente resulta na extinção da maior parte das espécies nativas deste habitat. Quando a inovação tecnológica agropecuária em avaliação promove este tipo de modificação, seja na propriedade ou no âmbito regional, ela

estará causando a extinção local de espécies. Igualmente, muitas inovações tecnológicas implicam a adoção de formas de manejo que são incompatíveis com componentes do manejo anterior ao qual a inovação se aplica, causando substituição ao invés de contribuição no desenvolvimento da atividade. O processo de desenvolvimento agropecuário deve precaver-se contra a homogeneização que pode resultar do avanço tecnológico, procurando evitar os prejuízos associados ao que muitas vezes qualifica-se ingênua e simplesmente como modernização. Esta homogeneização e os prejuízos a ela associados deve ser considerada em suas várias dimensões, incluindo desde a perda local de uma espécie de animal silvestre ou de variedades de plantas ou animais domésticos rústicos ou “caipiras”; o desuso de ferramentas, instrumentos, equipamentos e práticas de cultivo, manejo e construção; ou formas de preparo de alimentos e remédios caseiros; até conhecimentos tradicionais de grande valor histórico ou étnico sobre atividade terapêutica de plantas medicinais, ou mesmo costumes e crenças ligadas ao relacionamento social e cultural comunitário local. Com tal alcance, recomenda-se que a avaliação operacional desse componente seja o mais subjetiva possível, oferecendo ao produtor/responsável a oportunidade de expressar seu sentimento sobre as perdas percebidas em consequência da modernização, permitindo assim a documentação dessas possíveis perdas.

- **Diversidade de espécies:** estudo detalhado da diversidade com destaque para as espécies com risco de extinção.

3.3. Recuperação Ambiental

A recuperação ambiental está incluída no sistema de avaliação de impacto ambiental devido ao estado de degradação observado praticamente na totalidade das regiões agrícolas do país, impondo que o resgate desse passivo ambiental deve ser uma prioridade de todos os processos de inovação tecnológica agropecuária. Este aspecto dedica-se à consideração da resiliência, definida como a capacidade de um material ou sistema recuperar-se de uma alteração imposta, ou a habilidade de recobrar a forma original após cessada uma pressão deformadora. Em ecologia, define-se como resiliência de um ecossistema a sua capacidade de recuperar um estado de equilíbrio dinâmico

similar ao original, após cessado um estresse. O aspecto de recuperação ambiental refere-se à efetiva contribuição da inovação tecnológica para promover a recuperação da qualidade ambiental e dos ecossistemas, por melhoria das condições ou propriedades de compartimentos ambientais ou estoque de recursos. Assim, avalia-se a contribuição da inovação tecnológica para a efetiva recuperação de solos degradados (física, química e biologicamente), ecossistemas degradados, áreas de preservação permanente e da Reserva Legal.

I. Variáveis de Recuperação Ambiental

Os trabalhos deste indicador se baseiam nos estudos de solos, de dados climáticos, de recuperação das características físicas, químicas e biológicas, forma e ocupação.

- **Solos degradados:** o padrão de exploração agropecuária até a década de oitenta no Brasil foi caracterizado por um modelo extremamente predatório. Esse modelo envolve uma série de fatores de depauperação dos solos, dentre eles o expansionismo da fronteira, o emprego de tecnologias de manejo primariamente desenvolvidas para condições extra-tropicais, o uso muitas vezes pouco instruído de agroquímicos, o emprego frequente do fogo, uma mecanização muitas vezes não apropriada devido à coincidência temporal da necessidade de manejo com períodos chuvosos, sujeitando os solos à compactação, uma desconsideração generalizada (salvo avanços recentes em certas culturas) da biologia do solo, e muitos outros. A consequência desse modelo é a presente existência e a continuada expansão de áreas ocupadas por solos quimicamente empobrecidos, fisicamente degradados e biologicamente mortos. Um importante esforço de pesquisa tem sido dirigido nos últimos anos, felizmente, para o desenvolvimento de técnicas que melhorem o manejo e propiciem a recuperação das características físico-químicas-biológicas dos solos. Com efeito, grandes extensões de terras agrícolas vêm sendo cultivadas com técnicas de cultivo mínimo e plantio direto na palha, e a rotação e integração agricultura-pecuária vem também alcançado crescente expressão no cenário produtivo nacional.
- **Vegetação degradada:** com certo grau de sobreposição com o componente anterior, este componente se refere a áreas marginais,

porém inseridas no contexto produtivo das propriedades rurais, frequentemente expostas a queimadas, ao sobrepastoreio e a outras formas de agressão ecológica. A avaliação do coeficiente de alteração desse componente deve levar em consideração a recuperação e melhoria da inserção produtiva desses ecossistemas na propriedade, uma vez que a recuperação de áreas de preservação e de Reserva Legal faz-se adiante em componentes específicos.

- **Áreas de preservação permanente:** definidas em legislação pertinente (MP 1.956-50 de 28/05/2000 reeditada até a MP 2.166-67 de 24/08/2001) estas áreas envolvem as florestas e demais formas de vegetação natural de preservação permanente, incluindo topos de morros, terrenos com declividade superior a 45°, vegetação ciliar, etc. Na maioria dos casos as áreas de preservação permanente são ocupadas e alteradas por atividades agropecuárias, mas devido a restrições agrônômicas tendem a contribuir relativamente pouco em termos de produção, porém muito em termos de degradação ambiental.
- **Reserva Legal:** a distinção que se aplica entre este componente e o anterior é de ordem inclusiva, ou seja, se as áreas de preservação permanente presentes na propriedade forem suficientes para satisfazer as exigências relativas à Reserva Legal.

4. Metodologia

O presente trabalho é uma contribuição da Embrapa com a finalidade de avaliar tecnologias, produtos e serviços desenvolvidos pela Embrapa, cujo foco principal é o impacto sobre o meio ambiente e meio social, sob a ótica do usuário final. Este trabalho buscou contribuições nos trabalhos de Rodrigues (2000) e Rodrigues et al. (2002). A metodologia está fundamentada nos seguintes enfoques:

- Conhecer a “Visão do Usuário” sobre o elemento avaliado e seu impacto sobre o meio ambiente e o meio social, considerando como usuário todo indivíduo que interage com o elemento avaliado (trabalha, manipula, estuda, etc.). Essa é a razão que faz com que os usuários finais da tecnologia sejam os mais aptos para realizar tal tarefa. Ainda que esses usuários não possuam todo o conhecimento sobre as tecnologias, mas a vivência em condições

reais desta tecnologia torna suas respostas as mais indicadas para a avaliação de impactos que a presente proposta pretende realizar.

- Decorrente do parágrafo anterior, este enfoque não emprega “pesos” ou “ponderações” introduzidas pelos pesquisadores. Ao contrário, o metodologia permite extrair os “pesos” ou “ponderações” atribuídas pelos usuários, que é resultado da abordagem integrativa e visão global de todos os usuários.

A metodologia adota a abordagem hierárquica-integrativa com uma visão “Top Down”. Nesta, a tecnologia (elemento a ser avaliado) é uma integração de componentes que a formam, e por sua vez, cada um desses componentes (e seus similares num mesmo nível) decompõe-se em outros componentes (sub-componentes) assim sucessivamente, até chegar aos níveis mais baixos (indicadores). Nesta abordagem são considerados quatro níveis: tecnologia, componentes, sub-componentes e indicadores, e os mecanismos de especialização ou decomposição de elementos maiores ou mais complexos em elementos menores ou mais simples; também é apresentada a generalização ou agregação pelas quais elementos menores ou mais simples agregam-se para formar entidades maiores (O’NEILL, 1986; MANSILLA BACA, 2002). (Figura 1).

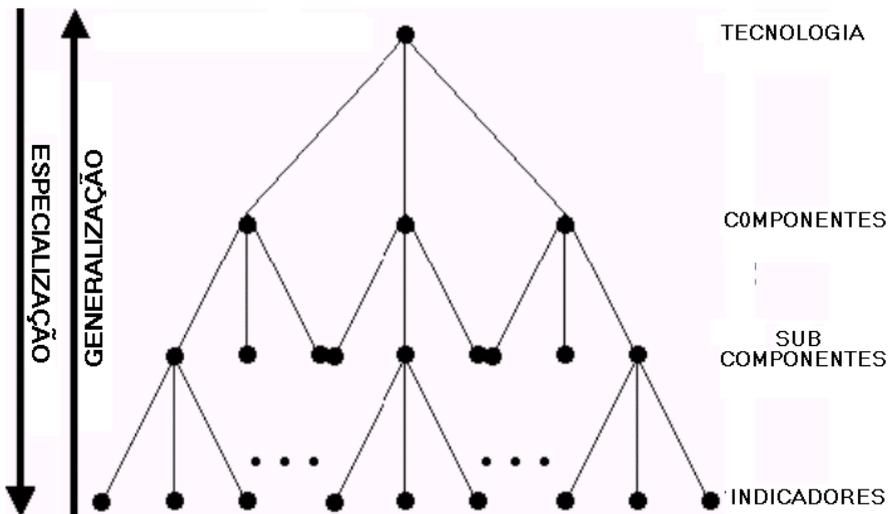


Figura 1 Estrutura hierárquica de uma metodologia de avaliação de tecnologia.

Os instrumentos operacionais desta metodologia são a estatística descritiva e a modelagem de integração de elementos, que permitem que sejam feitos os diversos testes estatísticos que avaliem a qualidade dos resultados parciais e finais da metodologia. A avaliação global da proposta é feita para cada elemento que se considera na proposta (tecnologia, componente, sub-componente e indicador) com análise dos dados de todos os usuários, obtendo-se como resultado final indicadores globais da avaliação. Um aspecto importante é a obtenção dos “pesos” ou “importância” que o usuário “forneceu” (resultado do modelo) para os diferentes elementos.

Outro aspecto importante da proposta é que além de ser aplicável para fins de impactos ambientais e sociais, também pode ser empregada para outros tipos de avaliações (avaliação de satisfação sobre produtos adquiridos ou desenvolvidos, avaliações de recursos humanos, etc.), cujas interações sejam feitas com o usuário, mesmo que sejam necessárias ligeiras modificações ou extensões, de acordo aos objetivos definidos.

Para melhor compreensão da metodologia serão seguidas as seguintes etapas: definição do objetivo, estrutura hierárquica dos componentes da tecnologia, formulação dos questionários, modelo matemático, processamento dos resultados, interpretação dos resultados.

4.1. Definição do Objetivo

O objetivo desta metodologia é criar um modelo para avaliar os impactos que a tecnologia em estudo tem sobre o meio ambiente e sobre o meio social através do ponto de vista do usuário. O primeiro passo deve ser a definição clara, concisa e explícita do objetivo a ser alcançado pela aplicação da metodologia. Esta definição deve responder às seguintes perguntas: “Quem ou o que vai ser avaliado?”, “Onde vai ser avaliado?”, “Quando vai ser avaliado?” e “Como vai ser avaliado?”.

4.2. Estrutura hierárquica dos componentes da tecnologia

A abordagem hierárquica integrativa permite modelar a forma como estão estruturados os componentes de uma entidade. Aqui se aplica esta teoria para organizar a estrutura hierárquica da entidade a ser ava-

liada. Esta tarefa é feita por uma equipe de especialistas da entidade avaliada e outros membros que tenham interação com a referida metodologia. Objetivamente, o que deve ficar bem especificado ao final desta tarefa é a Estrutura Hierárquica (decomposição de componentes) da entidade avaliada.

A Figura 2 representa a mesma estrutura que a Figura 1, mas os elementos dentro de cada caixinha têm números para melhor compreensão da estrutura hierárquica de uma Tecnologia. Para cada tecnologia estudada devem ser identificados seus componentes, sub-componentes e indicadores. Os componentes estão identificados pelo número que lhe segue, e podem ser de 1 a n. Nesta estrutura cada elemento que tiver outros elementos no nível abaixo do seu será definido como nó pai, que tem um conjunto de nós filhos. Esta estrutura seria o resultado do trabalho da equipe especialista nesta tecnologia e de seus usuários.

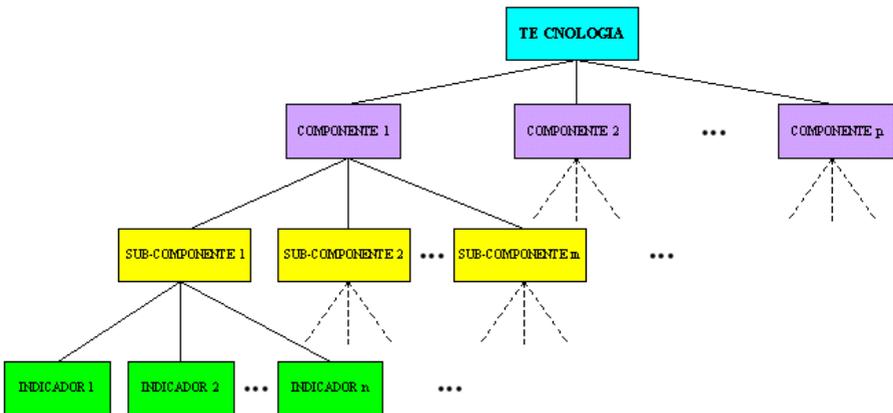


Figura 2 Estrutura hierárquica de uma tecnologia.

A Figura 3 mostra parte da estrutura da tecnologia Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras. A equipe técnica identificou três componentes para esta tecnologia: Eficiência Tecnológica, Conservação Ambiental e Recuperação Ambiental.

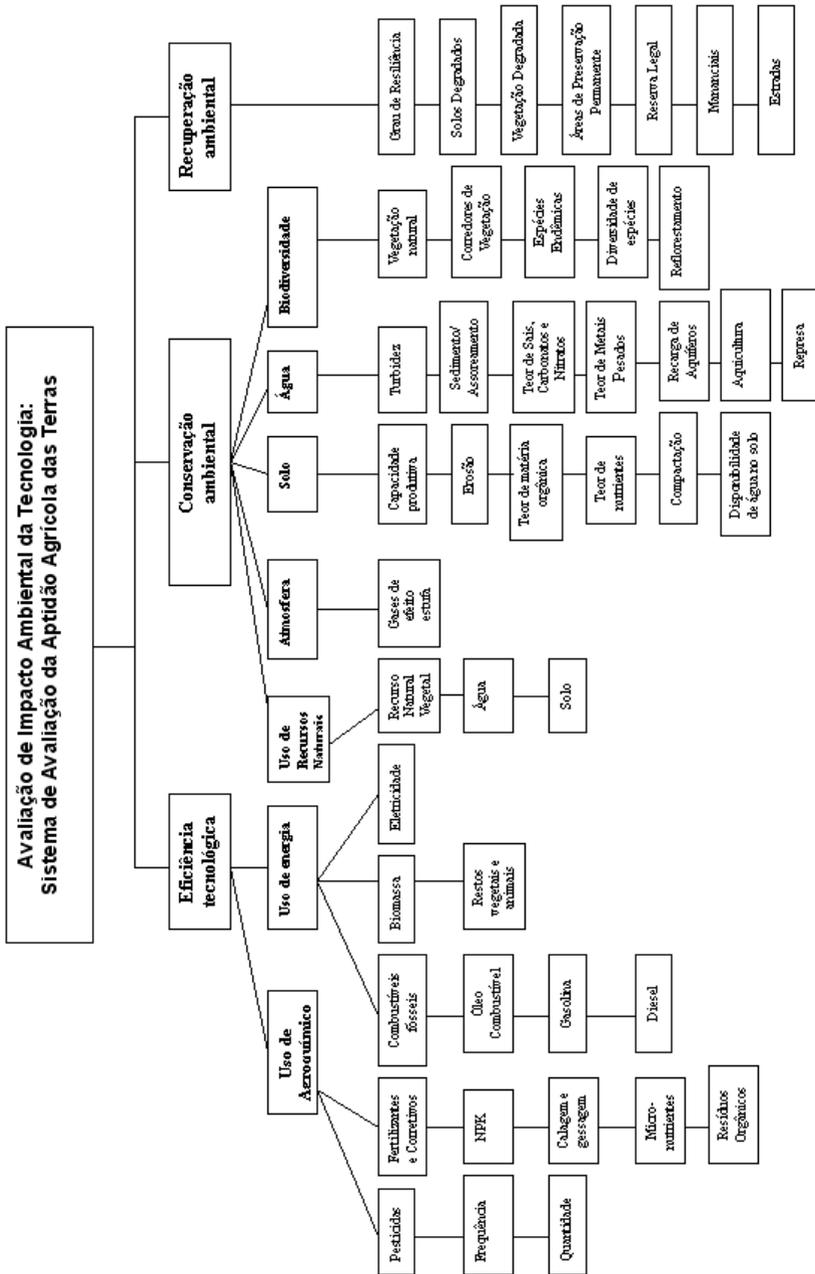


Figura 3 Estrutura hierárquica do SAAAT - Avaliação de Impacto Ambiental.

4.3. Formulação dos questionários

Considerar que cada nó pai apresenta um conjunto de nós filhos. Partindo desta premissa, devem ser analisados o nós pais e os correspondentes filhos para formar os questionários que serão avaliados pelos entrevistados.

A Figura 3 apresenta o nó pai Tecnologia e seus nós filhos Componente 1 ou Eficiência Tecnológica, Componente 2 ou Conservação Ambiental, até Componente n ou Recuperação Ambiental. (1º nível)

Estes nós filhos se tornam nós pais em relação ao nível abaixo. O nó pai Componente 1 ou Eficiência Tecnológica e seus nós filhos desde Sub-Componente 1.1 ou Uso de Agroquímicos, até Sub-Componente 1.n ou Uso de Energia. E sucessivamente até o nó pai Componente n ou Recuperação Ambiental e seus nós filhos Grau de Resiliência. (2º nível)

Finalmente, no último nível de nó pai apresentado na Figura 3 começa com o nó pai Sub-Componente 1.1 ou Uso de Agroquímicos e os nós filhos Indicadores 1.1.1 ou Pesticida até os Indicadores 1.1.n ou Quantidade. O último nó pai, Sub-Componente n.n ou Grau de Resiliência tem os nós filhos Indicadores n.n.1 ou Solos Degradados até os Indicadores n.n.n ou Estradas. (3º nível)

Para esta subestrutura são formuladas n+1 perguntas. Este procedimento é estendido para toda a estrutura hierárquica da tecnologia avaliada.

A formulação dos questionários não pode permitir dúvidas na interpretação do que se quer pesquisar. Para tanto, as perguntas deverão ser feitas considerando se o elemento pode dar uma “Contribuição muito alta”, “Contribuição alta”, “Contribuição média”, “Contribuição baixa” e “Contribuição quase nula ou não contribui”. Ou seja, contribui se o impacto do elemento é positivo (para conseguir o objetivo) e com qual intensidade, ou não contribui se o impacto do elemento é nulo (não atende ao objetivo). Foram definidos também adjetivos “Muito Alta”, “Alta”, “Média” e “Baixa” para qualificar o impacto. Deve-se formular tantas perguntas quantos elementos nó tem a estrutura hierárquica do sistema. De preferência, a ordem destas questões deve seguir seu posicionamento na estrutura.

De posse destas questões, elas são enviadas aos usuários para que realizem a avaliação e retornem suas respostas para proceder ao seu processamento.

4.4. Modelo Matemático

As respostas dos usuários para cada elemento mostram uma avaliação gradativa que pode ir num extremo de muita alta contribuição até o outro extremo de nenhuma contribuição, passando respectivamente por níveis intermediários de contribuição. Esta situação gradativa pode ser associada a 100% de contribuição (positivo) num caso extremo e 100% de nenhuma contribuição (negativo) no outro extremo. No entanto, como são cinco classes (CMA, CA, CM, CB e CN) que o usuário pode escolher (Tabela 1) e considerando a associação dos extremos aos 100% negativo e positivo, é estabelecida uma divisão desta faixa por intervalos de 40% e o ponto central de cada classe é tido como o seu representativo. Esta tabela serve para transformar as respostas em valores e vice-versa, ou seja, transformar valores em avaliação de acordo com as classes definidas.

Tabela 1. Transformação das respostas dos usuários para valores.

Valores atribuídos às questões		
Contribuição muito alta	CMA	0,8
Contribuição alta	CA	0,4
Contribuição média	CM	0
Contribuição baixa	CB	-0,4
Contribuição quase nula ou não contribui	CN	-0,8

Na Figura 2, foi apresentada a estrutura hierárquica do sub-componente e ela pode ser interpretada da seguinte maneira: “A forma como o Sub-Componente afeta o Sistema em avaliação é o resultado de como os seus indicadores (avaliações sobre eles) contribuem para alcançar tal resultado”. O modelo terá uma matriz de n linhas e m colunas onde n é o número de respostas de usuários (cada linha é a resposta de um usuário) e m colunas, sendo cada coluna um indicador inclusive a coluna do subcomponente. Para poder integrar estes dados, aplicamos a seguinte formulação matemática:

$$P_{i1} * AV_{u,i1} + P_{i2} * AV_{u,i2} + P_{i3} * AV_{u,i3} + \dots + P_{im} * AV_{u,im} = AV_{u\#}$$

Onde:

- P é o peso a ser determinado para uma avaliação global (todos os dados).

- i1, i2, i3, ..., im são os índices de cada elemento na estrutura processada, na qual m corresponde ao número de indicadores do componentes da tecnologia, inclusive seus subcomponentes.

- AV é a avaliação do usuário transformada para valor.

- u é o índice para a resposta de cada usuário para os nós filhos na estrutura avaliada, por tanto, u = 1, ..., n.

- u# é o índice para a resposta de cada usuário para o nó pai a ser avaliado na estrutura de cada usuário, por tanto, u* = 1, ..., n.

Este modelo matemático pode ser escrito matricialmente da seguinte maneira:

$$[AV]_{n*m} * [P]_{m*1} = [AV\#]_{n*1} \quad (1)$$

Onde:

- AV, matriz das avaliações transformadas para valores dos nós filhos (contribuintes) na estrutura considerada.

- P, vetor coluna dos pesos dos contribuintes, a ser determinado.

- AV#, vetor coluna das avaliações do nó pai, para o qual contribuem os demais elementos na respectiva estrutura considerada.

O modelo apresentado tem solução aplicando a teoria das pseudo matrizes. Ou seja, considerando que na fórmula (1) o sistema de equações formado pode ter mais equações que incógnitas (pesos), na maioria dos casos, o sistema sendo linear teria uma solução aplicando a teoria das pseudo-matrizes Menezes, multiplicando ambos membros da equação (1) pela matriz transposta de AV da seguinte forma:

$$[AV]^T_{m*n} * [AV]_{n*m} * [P]_{m*1} = [AV]^T_{m*n} * [AV\#]_{n*1} \quad (2)$$

Na equação (2), o produto $[AV]^T_{m*n} * [AV]_{n*m}$ é uma matriz quadrada que bem condicionada tem inversa, multiplicando-se esta inversa em ambos membros de (2) a equação fica da forma:

$$[[AV]^T * [AV]]^{-1} * [[AV]^T * [AV]] * [P]_{m+1} = [[AV]^T * [AV]]^{-1} * [AV]^T * [AV\#] \quad (3)$$

Nesta equação (3), o produto $[[AV]^T * [AV]]^{-1} * [[AV]^T * [AV]]$ é a matriz identidade com que se obtém a equação :

$$[P]_{m+1} = [[AV]^T * [AV]]^{-1} * [AV]^T * [AV\#] \quad (4)$$

4.5. Processamento dos resultados

A análise dos dados será feita através da Estatística descritiva. O primeiro processamento a ser feito, após organizar em tabelas as respostas dos usuários, é sumarizar tais tabelas para cada nó pai na estrutura hierárquica e os correspondentes nós filhos, como apresentado nas Tabelas 2, 3 e 4.

A Tabela 2 apresenta a Legenda dos diferentes elementos com as correspondentes cores que facilitem tanto a construção dos gráficos, assim como sua interpretação por parte dos usuários. A Tabela 3 mostra as frequências (instâncias) das classificações para cada elemento, ou seja, do total de respostas recebidas, quantos usuários consideraram que cada elemento “Contribuição muito alta” (CMA), “Contribuição alta” (CA), “Contribuição média” (CM), “Contribuição baixa” (CB) e “Contribuição quase nula ou não contribui” (CN). A Tabela 4 é o resultado da transformação das classificações em porcentagens.

Tabela 2. Legenda do Sub-Componente Uso de Agroquímicos e seus indicadores.

Legenda	
Agroquímicos	
Pesticidas	
Frequência-pesticidas	
Quantidade-pesticidas	
Fertilizantes	
NPK	
Calagem e gessagem	
Micronutrientes	
Resíduos orgânicos	

De posse desta última tabela, constroem-se os gráficos de barras apresentados na Figura 4. O histograma da parte de cima da Figura 4 corresponde aos dados do nó pai, o Sub-Componente Uso de Agroquímicos, e os histogramas da parte de baixo correspondem aos seus nós filhos, os seus indicadores.

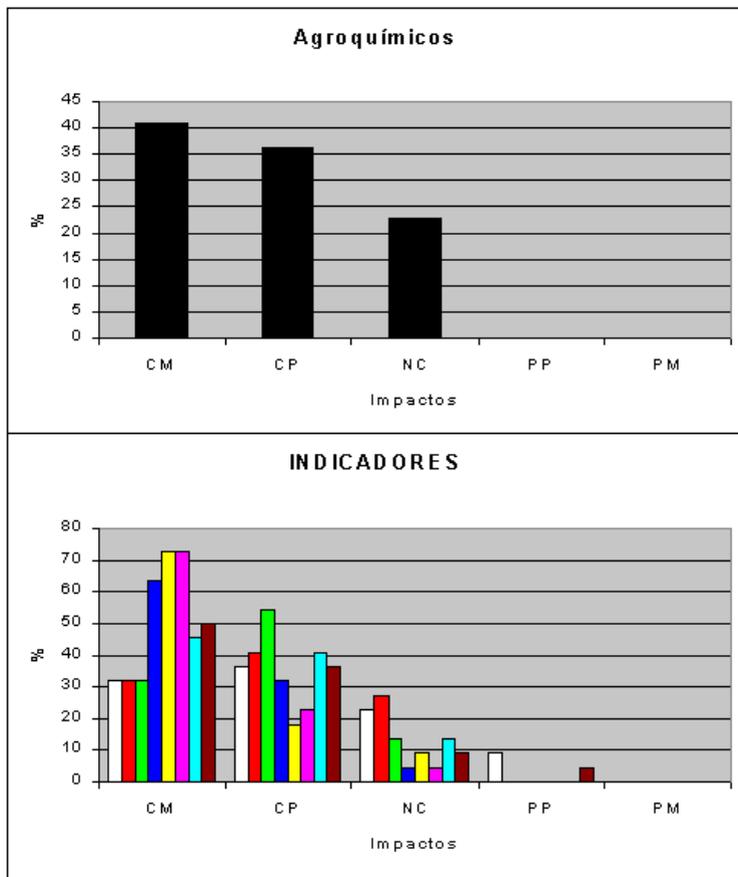


Figura 4 Histogramas do Sub-Componente Uso de Agroquímicos e seus indicadores.

Este processamento será aplicado para toda a estrutura, iniciando-se primeiramente com todos os Sub-Componentes e seus Indicadores, logo em seguida para todos os Componentes e seus correspondentes Sub-Componentes, para finalmente aplicar para a Tecnologia e seus correspondentes Componentes.

A interpretação dos resultados ficará para cada sistema a ser avaliado e dependente do objetivo proposto e a premissa da proposta: ela é uma “Visão do Usuário”. Considerações interpretativas destes resultados serão apresentadas posteriormente.

A equação (4) apresentada No Modelo Matemático é o resultado da aplicação da teoria das pseudo matrizes, cujos resultados para o exemplo considerado é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Pesos dos indicadores do Sub-Componente Uso de Agroquímicos.

Ajustamento de pesos								
Peso	0.17	0.28	0.28	0.37	0.13	0.15	-0.29	-0.16

Nesta tabela, aparecem valores positivos e negativos, e eles podem ser interpretados pela forma como cada indicador influencia, neste caso, acrescenta (positivo) ou diminui (negativo) para a avaliação de cada Sub-Componente. Como foi apresentado, eles são o resultado do processamento das avaliações de todos os usuários, daí a sua característica global, e como já apresentado seu produto com as correspondentes avaliações resultará numa avaliação integral do Sub-Componente apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados finais da avaliação.

Resultados finais			
Sem ajuste	0.4727	Ajustada	0.4937
Contribui pouco - Agroquímicos			

A Tabela 6 apresenta três resultados:

- Resultado sem ajuste, ele é a média aritmética das avaliações feitas pelos usuários sobre o elemento para o qual se contribui, Sub-Componente neste caso.
- O resultado ajustado é o produto da multiplicação da matriz [AV] (avaliações dos usuários dos elementos menores: indicadores, neste caso) pela matriz [P] resultada do cálculo. Esta matriz coluna seria as avaliações ajustadas do componente para o qual se contribui,

e o valor que aparece na Tabela 6 como ajustada é a média aritmética dos valores desta matriz.

- Finalmente aparece um último resultado na última linha da Tabela 6, que é a passagem do valor numérico 0,4937 para a classe correspondente na Tabela 1 - Transformação das respostas dos usuários para valores , onde 0,4 corresponde a “Contribuição Alta”, que é o que corresponde à opinião dos usuários.

Interpretação dos resultados

Esta etapa de vital importância é realizada considerando os objetivos definidos para o trabalho e as premissas feitas na parte inicial. Uma facilidade desta metodologia é que os resultados são apresentados em forma de gráficos, o que facilita sua compreensão.

Na Embrapa Solos foram feitas as avaliações de três tecnológias empregando esta metodologia cujos resultados foram apresentados em relatórios anuais. Nas interpretações feitas sobre tais tecnologias, foi considerado o sistema em forma global, ou seja, com todos seus elementos e resultados. Aqui é onde se aplica a característica sistêmica da proposta de Mansilla Baca (2002), pois cada elemento tem ligação com os demais como é mostrado na estrutura hierárquica correspondente e esta não pode ser desconsiderada na interpretação.

Implementação

Como desenvolvido até agora, a proposta está implementada 80% em planilha eletrônica, que facilita o emprego da metodologia.

Os dados são apresentados numa planilha como mostra a Figura 6. Com os dados desta planilha e empregando macros em linguagem VBA, são geradas novas planilhas para cada elemento considerado, como mostra a Figura 7.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
3												
4	Dados											
5	Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	Indicadores	Agroquímicos	Pesticidas	Frequência - Pesticidas	Quantidade Pesticidas	Fertilizantes	NPK	Calagem e Gessagem	Micronutriente	Resíduos orgânicos	Energia na explor. Agropec.	Combustíveis Fosséis
8	Indivíduo 1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0
9	Indivíduo 2	3	-1	1	1	3	3	3	1	-1	1	3
10	Indivíduo 3	1	-1	1	1	3	3	3	3	1	1	3
11	Indivíduo 4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
12	Indivíduo 5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
13	Indivíduo 6	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3
14	Indivíduo 7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
15	Indivíduo 8	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
16	Indivíduo 9	0	1	1	3	1	0	0	3	0	0	0
17	Indivíduo 10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
18	Indivíduo 11	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
19	Indivíduo 12	1	1	3	1	0	0	1	0	1	0	0
20	Indivíduo 13	1	1	1	1	3	3	3	1	3	1	1
21	Indivíduo 14	0	0	0	0	3	3	3	3	3	0	0
22	Indivíduo 15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	Indivíduo 16	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
24	Indivíduo 17	1	1	1	1	3	3	3	3	1	1	1
25	Indivíduo 18	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	3
26	Indivíduo 19	3	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3
27	Indivíduo 20	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3
28	Indivíduo 21	0	0	0	0	1	1	1	1	3	3	3
29	Indivíduo 22	1	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1
30												
31		Contribui Muito										
32		Contribui Pouco										
33		Não altera										
34		Prejudica Pouco										
35		Prejudica Muito										
36												

Figura 6. Planilha de entrada de dados.

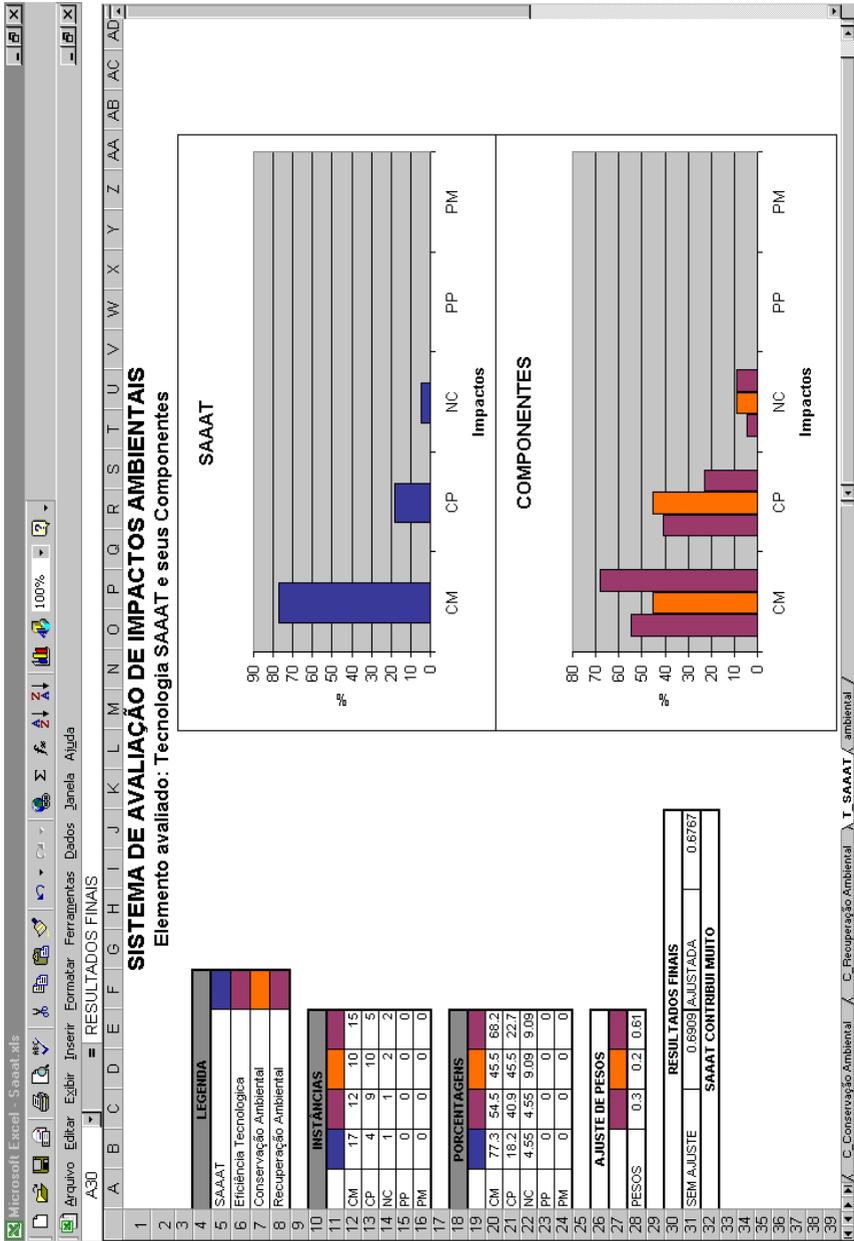


Figura 7. Planilha da tecnologia e seus componentes.

5. Resultados e Discussão

Este sistema foi avaliado em forma geral com impacto médio, muito perto de entrar com uma contribuição alta. O comportamento dos componentes em geral é para reduzir a contribuição para média. O componente que maior peso é o da Recuperação ambiental.

O componente de Recuperação Ambiental e seus subcomponentes tem um comportamento similar. A avaliação geral deste componente é de contribuição média. O peso que mais influenciou é o dos mamanciais de água para obter a avaliação ajustada.

O componente Conservação Ambiental teve uma avaliação de 0,54, ou seja, com contribuição média. Os subcomponentes e componente tiveram uma resposta similar e coerente com pequenas variações. Os subcomponentes tiveram um peso relativamente similar a exceção da Preserv. Da Rec. Naturais que ficou com peso baixo (zero) puxado pelos demais e principalmente pelo componente.

A Eficiência Tecnológica teve uma avaliação de 0,52 com uma contribuição média como impacto ambiental. Componente e subcomponentes tiveram uma resposta similar e coerente, tanto assim que os pesos dos subcomponentes são similares com aproximadamente 0,5 para cada um.

O subcomponente Biodiversidade teve uma resposta de contribuição média com 0,52 de avaliação. Subcomponentes e indicadores graficamente mostram um comportamento similar com variações sendo que no ajuste para alcançar este resultado pesaram mais a vegetação natural, a diversidade de espécies e os corredores de vegetação.

A Água no Sistema Ambiental teve uma avaliação média de 0,51. Os gráficos de barras de subcomponente e indicadores mostram respostas similares com pequenas variações. Os pesos dos indicadores foram maiores para a turbidez e sedimentação e assoreamento de represas, puxando estes dois indicadores para esta posição central.

O subcomponente Solos teve uma contribuição alta com 0,61 de avaliação. As formas dos gráficos de barras de subcomponente e indicadores apresentaram-se coerentes com similaridade de distribuição. Os indica-

dores que mais pesaram para chegar a esta avaliação ajustada foram: Capacidade Produtiva do Solos, Erosão do Solo e Nutrientes no Solo.

O subcomponente Atmosfera apresentou uma contribuição média com 0,49 de avaliação ajustada. Os digramas do subcomponente e indicador está coerente tanto assim que o peso aparece como 1.

O subcomponente Preservação de Recursos Naturais resultou com uma contribuição média com 0,58 de avaliação. Seus indicadores resultaram com similares formas ao subcomponente como mostram os diagrams de barras. No ajuste dos pesos foi o indicador Preservação de Recursos Naturais Vegerais o que pesou mais para chegar a esse valor de avaliação.

A Energia na Exploração Agropecuária resultou como tendo uma contribuição média nos impactos ambientais. Os indicadores e o subcomponente apresentaram uma similaridade na distribuição de frequencias como mostram os gráficos. Os indicadores que mais pesaram foram a Biomassa, a Eletricidade e os Combustíveis Fósseis.

Agroquímicos, este subcomponente apresenta uma contribuição média com 0,51 de avaliação. Os indicadores em relação ao subcomponente não apresenta uma boa similaridade. Os Pesticidas, e a Frequência de emprego de pesticidas foram os indicadores que mais pesaram para chegar a este resultado de ajuste final.

Tabela 7. Resumo da avaliação da tecnologia.

Elemento	Sem ajuste	Ajustada	Contribuição
SAAAT	0,57	0,56	Pouca
Eficiência Tecnológica	0,54	0,52	Pouca
Conservação Ambiental	0,54	0,54	Pouca
Recuperação Ambiental	0,54	0,53	Pouca
Biodiversidade	0,52	0,52	Pouca
Água no Sistema Ambiental	0,52	0,51	Pouca
Solos	0,62	0,61	Alta
Atmosfera	0,52	0,49	Pouca
Preservação de Recursos Naturais	0,58	0,58	Pouca
Energia na Exploração Agropecuária	0,49	0,49	Pouca
Agroquímicos	0,52	0,51	Pouca

O quadro resumo apresentado mostra que a avaliação desta tecnologia é que ela tem pouca contribuição nos impactos ambientais. O elemento com maior avaliação foram os Solos e o com menor avaliação a Energia na Explicação Agropecuária.

6. Considerações Finais

A proposta considera exclusivamente as avaliações dos usuários e em forma global “extraí” a “importância” que eles dão aos diferentes elementos que intervem no problema. Tais informações recolhidas dos usuários podem ir de confronto com a visão dos especialistas o que pode ser motivo de pesquisa de tais contradições. Um aspecto muito importante a considerar é que tais informações são resultados diretos de duas etapas do processo: a construção da estrutura hierárquica e as formulação das perguntas. Em todo caso, um resultado como a proposta apresentada serve para avaliar as considerações que os especialistas tem sobre os sistemas. Na Embrapa Solos, as equipes formadas para realizar tais avaliações tiveram longas reuniões para chegar a essas estruturas apresentadas, nem sempre consensuais, nem de fácil compreensão para todos os especialistas, daí que no resultado final pode-se ter estruturas que podem ser motivo de discussão e aprimoramento que a presente proposta ajuda a levantar e corrigir. O resultado, em forma de gráfico e/ou numérica, também permitiu descobrir, “a olho nú”, resultados incompatíveis com o conhecimento sobre a matéria e reexaminando a forma que foram feitas as perguntas aos usuários descobriu-se que o problema estava nesta formulação destas. Assim ficou evidente a importância da clareza e simplicidade das questões oferecidas aos usuários.

A proposta apresenta indicadores numéricos tanto de avaliação do elemento para o qual se contribui (elemento pai na estrutura), assim como da importância que todos os usuários dão aos elementos contribuintes (filhos), e aplica sobre ambos a estatística elementar sobre as quais se podem fazer todos os testes estatísticos que permitam avaliar a qualidade dos resultados obtidos. Nesta proposta não são apresentados tais testes, porém para futuros desenvolvimentos serão incorporados na proposta, que enriquecerão e oferecerão os resultados com o rigor científico que deve ter todo trabalho de pesquisa principalmente, numa

área importante como é a avaliação de tecnologias sobre o meio ambiente.

A proposta recolhe e implementa o mecanismo de agregação ou generalização da teoria hierárquica e com ela vai agregando de elementos simples para os mais complexos, chegando finalmente à Tecnologia, objeto de avaliação da proposta.

Até a formulação do presente documento, novos enfoques para aprimorar os resultados estão em curso. Caso a Embrapa mostre interesse na proposta, pode se evoluir para a construção de um software que permita a automatização das tarefas, ou elas podem ser utilizadas nas planilhas até agora implementadas.

7. Referências Bibliográficas

CAMPANHOLA, C. ; RODRIGUES, G. S. ; BETTIOL, W. . Evolução, situação atual, projeção e perspectiva de sucesso de um programa de racionalização de uso de agrotóxicos no Brasil. In: GERALDO STACHETTI RODRIGUES. (Org.). DIALOGO L: RACIONALIZACION DEL USO DE PESTICIDAS EN EL CONO SUR. MONTEVIDÉU: IICA/PROCISUR, 1998, v. , p. 43-49.

FAO, 1976. **A framework for land evaluation**. FAO Soils Bulletin 32

MANSILLA BACA, J.F. **Dinâmica da Paisagem: Métodos analíticos e modelos de classificação e simulação prognóstica, sob a ótica geoecológica**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Rio de Janeiro, Dpto. de Geografia, Rio de Janeiro, 2002.

MIRRA, A.L.V. **Impacto ambiental**: aspectos da legislação brasileira. São Paulo, Editora Oliveira Mendes, 1998.

O'NEILL, R. V., DEANGELIS, D. L., WAIDE, J. B., ALLEN, T. F. H. 1986. **A Hierarchical Concept of Ecosystems**. Princeton University Press, Princeton.

PIMENTEL, D. 1998. **Environmental and economic issues associated with pesticide use**. In International Conference on Pesticide Use in Developing Countries: Impact on Health and Environment. (1998, Heredia, Costa Rica). Pesticide Program: Development, Health and Environment. Universidad Nacional. Book of Abstracts. San José, Costa Rica. p. 8-14.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3 ed.rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA CNPS, 1995. 65p.

RODRIGUES, G. S.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; IRIAS, L. J. M.; LIGO, M. A. V. **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa II: avaliação da formulação de projetos - versão I.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 28 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa, 10).

RODRIGUES, S. R.; MARCHINI, L. C.; CARBONARI, J. J. Ácaros das famílias Scutacaridae e Pygmephoridae (Acari: Heterostigmata) associados a besouros coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae) no Brasil. *Neotropical Entomology*, Londrina, v. 30, n. 3, p. 377-390, 2001.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. **Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: um sistema de avaliação para o contexto institucional de P&D.** *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v.19, n. 3, p.349-375, set./dez. 2002.