

**SELEÇÃO DE MÉTODO DE COLHEITA DE CANA-DE AÇÚCAR NA REGIÃO NORTE-FLUMINENSE POR MEIO DE AUXÍLIO MULTICRITÉRIO A DECISÃO**

André Cunha

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Candido Mendes, RJ/Brasil  
Universidade Candido Mendes e Instituto Federal Fluminense, RJ/Brasil  
aacunha@gmail.com

Wallace Terra

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Candido Mendes, RJ/Brasil  
Universidade Candido Mendes e Petrobras, RJ/Brasil  
wallaceterra@hotmail.com

Leonardo Cardoso

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Candido Mendes, RJ/Brasil  
Universidade Candido Mendes e Instituto Federal Fluminense, RJ/Brasil  
leonardocardoso@gmail.com

Milton Erthal Junior.

Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro  
Universidade Candido Mendes e Instituto Federal Fluminense, RJ/Brasil  
miltonerthal@hotmail.com

**RESUMO**

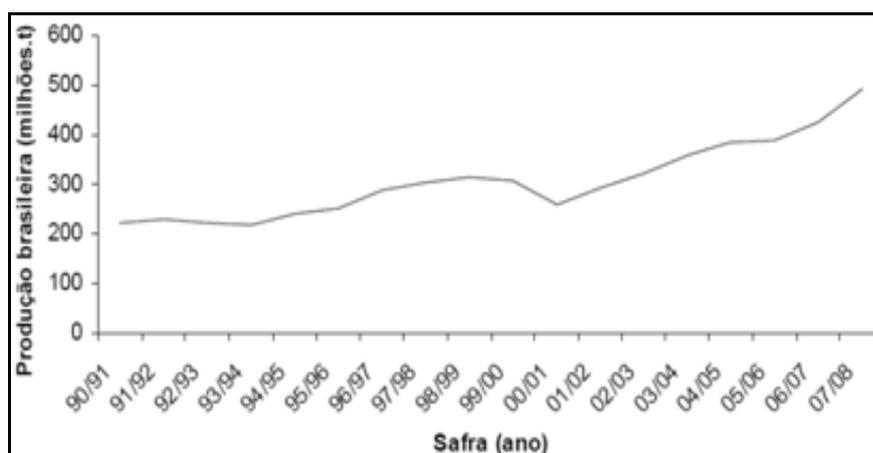
Este artigo tem o objetivo de identificar o melhor método de colheita de cana-de-açúcar com a aplicação de um método de auxílio multicritério à decisão. Através dos critérios: custo (aquisição, manutenção e de combustível), produtividade, flexibilidade (altura e número de cortes), ergonomia e qualidade do método (conservação do solo e das soqueiras) o método de análise hierárquica (AHP) foi usado para selecionar a melhor opção de colheita da cana. Os dados foram obtidos por aplicação de questionário aos gestores de usinas de cana da região Norte Fluminense. O método de colheita totalmente mecanizado deveria ser adotado em relação às outras alternativas estudadas: colheita semi-mecanizada e colheita manual. O trabalho corrobora resultados de outros trabalhos que indicam que a mecanização é uma opção viável e poderia ser usada para melhorar os índices de produtividade na região estudada. A opção mecanizada é recomendável em função dos atributos ambientais, alta capacidade e rapidez na colheita.

**PALAVRAS-CHAVE:** processo de análise hierárquica; *Sacharium spp*; agricultura.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Sacharium spp.*) com uma produção de 589 milhões de toneladas (30,2%), seguido de Índia (20,6) e China (6%) (União dos Produtores de Bioenergia [UDOP], 2007; Nova Cana, 2014). O cultivo da cana-de-açúcar foi uma atividade econômica importante durante a colonização do Brasil e sua história é marcada por períodos de estagnação e acelerado desenvolvimento. Atualmente, a agricultura canavieira é um segmento expressivo para o agronegócio brasileiro, que abrange 9 milhões de hectares plantados (Secretária da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná [SEAB], 2011).

A análise histórica e dados recentes indicam que a atividade canavieira nacional representa uma das melhores fases de sua longa história (Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB], 2012). A Figura 1 indica o crescimento do setor nos últimos anos, e há uma perspectiva de ser ainda maior para os próximos anos (Instituto de Economia Agrícola [IEA], 2008). Novos métodos de processamento industriais deste insumo impulsionam o crescimento. Tais fatores levam a uma reestruturação de todo cenário vivido desde a década de 80 (Scopinho, 2000).



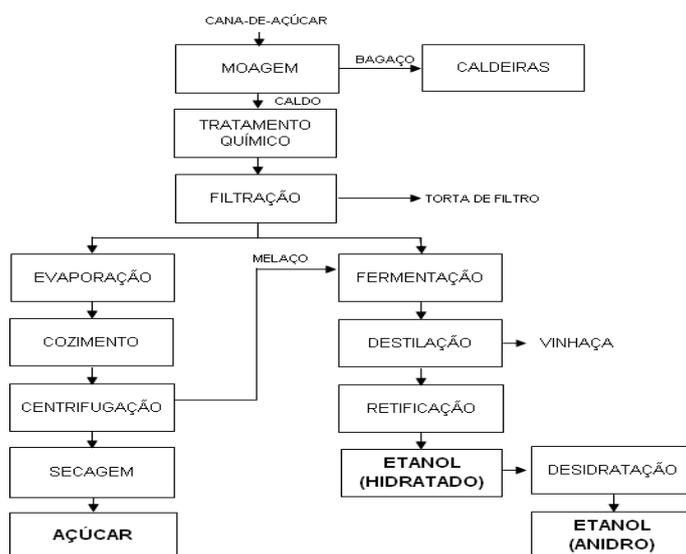
**Figura 1.** Produção brasileira de cana-de-açúcar - safras 1990/1991 e 2007/2008.  
Fonte: IEA, 2008.

Segundo os dados levantados pelo Ministério da Agricultura, em 2012 foram processados 588.915 milhões de toneladas de cana de açúcar (CONAB, 2012). Esse número é 5.6% inferior ao registrado na safra 2010/2011, quando foram processados 623.905 milhões de toneladas da cana de açúcar. A queda observada em meados de 2011 foi devida a estiagem que se prolongou pelos meses de junho a setembro, fazendo com que a quantidade de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) por tonelada diminuísse em comparação com anos anteriores (Deere, 2011). Na safra 2013/2014 a perspectiva é de uma safra de, aproximadamente, 652 mil toneladas. O *mix* de produção continua direcionando a maior parte da cana colhida para a produção de etanol, apesar do percentual voltado para o açúcar estar mais alto do que na safra anterior (CONAB, 2013).

A política de abastecimento energético está alinhada ao Ministério da Agricultura no que tange a preocupação da diminuição de produção de etanol em relação à produção de açúcar que está mais atrativo internacionalmente. Cerca de 51% da cana colhida é utilizada para produção de 23.6 bilhões de litros de etanol, sendo gerados 14.5 bilhões de litros de etanol do tipo hidratado e 9.1 bilhões do tipo anidro. Os 49% de cana colhida são direcionados para produção de açúcar. Na Figura 2 é apresentado um fluxograma do processamento da cana-de-açúcar, produção de álcool e açúcar e seus subprodutos (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [MAPA], 2009).

Na safra 2013/2014 a perspectiva de aumento na área de cultivo no Brasil é de 10,7% está tendendo a um crescimento de 4.7% e devendo chegar a 8.8 milhões de hectares, com produtividade de 74,1 t/ha. O estado de São Paulo apresenta a com maior área cultivada, com 4.4 milhões hectares ou 52.6% do total nacional. Seguido por Minas Gerais, Goiás, Paraná, Mato Grosso do Sul, Alagoas e Pernambuco (CONAB, 2013).

Um fator primordial na produção e longevidade da cultura da cana-de-açúcar é o tipo de colheita utilizada. Além dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o meio ambiente e a saúde pública podem ser impactados pelo tipo de manejo adotado no ato da colheita. Este processo pode ser realizado manualmente, semi-mecanizado ou mecanizado. O sistema manual de colheita se caracteriza quando o corte e o carregamento são realizados manualmente. Na maioria das vezes este tipo de colheita é precedido da queima da lavoura, que tem a finalidade de eliminar folhas e bainhas foliares, aumentar a concentração da sacarose, facilitar o acesso à área, espantar animais peçonhentos e aumentar a produtividade com corte exercido pelos bóias-frias. Entre os vários problemas gerados pela queima pode-se destacar a alta emissão de gás carbônico na atmosfera, que contribui com o efeito estufa, a degradação dos solos, e a rápida redução da sacarose (Garcia & Souza, 2010).



**Figura 2.** Esquema da produção de açúcar e bioetanol de cana.  
Fonte: CEPAL, BNDS, CGEE & FAO, 2008.

A evolução deste processo consiste na introdução de maquinário adequado para realizar o enleiramento e carregamento da cana cortada manualmente para o interior dos caminhões transportadores.

A colheita totalmente mecanizada da cana-de-açúcar é um método que vem sendo utilizado com sucesso em muitas áreas produtoras no Brasil. Neste sistema de colheita, que não utiliza a queima, os colmos são cortados em pedaços e acondicionados em caminhões transportadores. Os resíduos deste processo, constituído de folhas, bainhas e ponteiros são triturados e lançados novamente na área, sobre a superfície do solo, formando uma camada de resíduo vegetal denominada *mulch*, palha ou palhada (Trivelin, Simões & Victoria, 1996). As principais vantagens da colheita mecanizada são a extinção da queima da cultura e a preservação de algumas propriedades dos solos. Este sistema favorece a redução da erosão e o aumento do teor de matéria orgânica e mineral (Gava, Trivelin, Vitti & Oliveira, 2003). Entretanto, além do alto custo, o transito de máquinas provoca a compactação superficial do solo, reduzindo a porosidade total, a qual poderá restringir o desenvolvimento radicular das culturas e interferir no ciclo hidrológico (Souza, Prado, Paixão & Cesarin, 2005).

Um importante desafio é obter ganhos de produtividade e qualidade no campo. Métodos adequados de plantio e colheita são essenciais para se alcançar um produto de qualidade (Campos, 2007). Além de atender as atuais exigências ambientais que proíbem a queima do canavial para auxiliar a colheita manual da cana.

Neste contexto pode se destacar o uso de uma ferramenta de auxílio a decisão para seleção de modo de colheita da cana-de-açúcar, que ofereça melhor qualidade ao produto além de atender a legislação ambiental. Esta metodologia foi empregada de forma eficiente para a escolha de variedades de cana-de-açúcar em função das variáveis de solo, clima e manejo da cultura (Costa & Moll, 1999).

A região norte do Estado do Rio de Janeiro, Região Norte Fluminense, apresenta tradição na pecuária extensiva e agricultura canavieira. No município de Campos dos Goytacazes a produção de cana-de-açúcar representa a principal atividade agrícola e é o maior produtor regional. No entanto, a produtividade é inferior a 50 t por hectare de área plantada. Tem-se nos arquivos da Cooperativa Agroindustrial de Campos – COAGRO, que na safra 2007/08 foram moídas 3.831.651 toneladas de cana-de-açúcar pelas oito usinas existentes na região, e produzidos 4.869.434 sacos de açúcar, 26.954 mil litros de álcool anidro e 93.320 mil litros de álcool hidratado.

O presente artigo tem a finalidade de oferecer suporte de decisão para a escolha do método de colheita de cana-de-açúcar na região norte fluminense por meio do método AHP e discutir os aspectos favoráveis e contra relacionados à implantação de cada método de colheita. Para tanto foi utilizado o método AHP.

A escolha do método AHP em detrimento dos outros métodos de análise multicritério se baseia no fato do AHP ser um método para indicar a melhor opção, que é o objetivo do presente estudo. Mas, outros métodos como o ELECTRE são uma melhor opção quando é necessário criar um ranking com as melhores opções para o problema. O AHP (Analytic Hierarchy Process) é um método eficaz para tomada de decisão, pois ele identifica qual é a melhor opção dentro de todas as alternativas possíveis e ajuda na determinação de prioridades, considerando os aspectos quantitativos e qualitativos envolvidos. Por meio da redução de decisões complexas a decisões comparativas par a par. O AHP se subdivide em estruturação, julgamentos e síntese dos resultados (Salomon, 2004).

O artigo está dividido em cinco partes. A primeira consiste na introdução, justificativa e objetivo deste estudo. Na segunda seção apresenta-se uma revisão da literatura, descrevendo os impactos sociais, os métodos de colheita da cana-de-açúcar e finaliza com algumas técnicas de tomadas de decisão multicritério. Na terceira seção será explicada a metodologia utilizada e os pesos que serão utilizados no método AHP. A quarta seção apresenta os resultados obtidos e a quinta seção as conclusões e considerações finais.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

Nesta seção pretendem-se discutir os métodos de colheita da cana-de-açúcar, os impactos sociais e ambientais da despalhagem por queimadas e as implicações sociais relacionadas às três formas de retirada de palhas da cana-de-açúcar. Serão abordadas ainda algumas técnicas de tomada de decisão.

### **Queima da cana-de-açúcar**

Segundo Paes (2007), a queima da palha da cana-de-açúcar como método de despalha (eliminação da palha e folhas secas) é prática usual em quase todos os 97 países que a produzem. No Brasil, a queima do canavial é uma prática usual, principalmente quando a colheita é manual. A queima prévia da cana-de-açúcar aumenta a produtividade do trabalhador, porque evita a retirada da palha da cana.

As queimadas causam danos não somente ao solo, mais também à flora, à fauna e à atmosfera. A fumaça, com a mistura de fuligem, substâncias orgânicas voláteis e alcatrão, causam acidentes e outros transtornos em rodovias, aeroportos e cidades, pela redução da visibilidade. Além deste fato podemos citar os vários problemas respiratórios que a fuligem oriunda da prática da queimada ocasiona na população (Ribeiro & Pesqueiro, 2010). Outro problema grave durante a queima da palhada da cana é a emissão de gases do efeito estufa. Este problema é, atualmente, transversal a todas as atividades humanas. No caso da indústria canavieira, a preservação da palhada poderia

colaborar para melhora o status do etanol como um recurso energético sustentável (Garcia & Sperling, 2010).

No Sudeste brasileiro, os governos estaduais estão tornando mais restritivas as praticas e mais duras as fiscalizações nas regiões produtoras de cana-de-açúcar e com isso já observa-se diminuição da poluição local.

### **Método de Colheita da cana-de-açúcar**

A mecanização da cultura da cana-de-açúcar vem sendo praticada em vários países do mundo. Veiga Filho (1998) relata que a mecanização total no corte de cana-de-açúcar em regiões como Havaí, Luisiania, Austrália e, mais recentemente, Cuba, teve origem nos anos 30, e avançou no período pós-guerra. No Brasil, a mecanização da colheita foi implantada na década de 1980, e vem crescendo devido a três fatores principais: escassez de mão-de-obra a partir da década de 1980, redução de custos e pela pressão ambiental para que a colheita da cana seja feita sem queima (Moraes, 2007).

O estudo realizado por Veiga Filho e Santos (1995) relata os níveis de mecanização do corte da cana-de-açúcar em São Paulo, no qual foi identificado que o aumento de produção no período de 1963-1990 ocorreu com 32% pelo aumento da produtividade da terra e 68% pela mecanização do processo produtivo. De acordo com os dados publicados pelo Centro Tecnológico da Cooperativa dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (Copersucar, 1995), pode-se verificar que, entre 1980 e 1993, pesquisas relativas à inovação, 40% delas estiveram centradas em pragas e doenças, 17% em mecanização agrícola e 15% em melhoramento genético e pesquisa biológica básica.

Em estudo sobre a aptidão das terras de Piracicaba para o corte mecanizado de cana-de-açúcar desenvolvido por Sparovek, Alleoni, Pereira e Rosseto (1997), pelo fato da região ter uma grande variação de tipos de solos e com diferentes graus de declividade. Concluiu-se que, da área total de 174.019 ha, considerada no estudo, 54.741 ha, ou seja, 31%, foram classificados como aptos para o corte mecanizado sem queima prévia. Das terras aptas para o corte mecanizado, 41.599 ha já estavam ocupadas com cana-de-açúcar desde 1991, o que correspondia a 76% do total. A área de expansão disponível, ou seja, aquela apta e não ocupada com cana-de-açúcar, representa 13.142 ha.

Resumidamente, a mecanização cada vez mais pode ser aplicada a terrenos com pouca declividade, o que favorece a maior parte dos solos das microrregiões onde ocorre o plantio da cana-de-açúcar. O declive plano é uma característica da região estudada - Norte Fluminense.

### **Método de Colheita e o Impacto Social**

A colheita mecanizada altera o perfil dos trabalhadores a serem utilizados na colheita da cana, enquanto cria oportunidades para tratoristas, motoristas, mecânicos, condutores de colheitadeiras, técnicos em eletrônica, dentre outros. Também, reduz, em maior escala, a necessidade da utilização dos empregados de baixa escolaridade, como é o perfil dos trabalhadores de corte de cana, expulsando-os da atividade. Este fato implica a necessidade de alfabetização, qualificação e treinamento desta mão-de-obra, para que a mesma possa estar apta a atividades que exijam maior escolaridade (Moraes, 2007).

Guilhoto, Barros, Marjotta-Maistro e Istake (2002) estudaram os impactos diretos e indiretos sobre o emprego, utilizando um modelo inter-regional de insumo-produto para a economia brasileira de 1997, nas cinco macrorregiões, considerando especificamente o setor de cana-de-açúcar.

Os autores consideraram dois cenários possíveis:

- (i) mecanização de 50% da colheita na região Norte-Nordeste e 80% na região Centro-Sul, sem alteração dos níveis de produtividade;
- (ii) mesmas hipóteses, alterando-se a produtividade – aumento de 20% tanto para a colheita manual como mecânica.

Os autores encontraram que as reduções dos números de empregados, devido à mecanização da colheita, podem atingir, aproximadamente, 243 mil no cenário I e 273 mil no cenário II. Ao se considerar o nível de escolaridade, as maiores perdas são justamente para aqueles empregados com até três anos de estudo. Este estudo confirma que a mecanização possibilita a utilização de mão-de-obra mais qualificada, entre seus funcionários. Porém com uma quantidade menor de funcionários nos locais com maior mecanização.

### **Métodos de decisão**

A tomada de decisão multicritério pressupõe o conhecimento de algumas informações como: pessoas e grupos envolvidos; objetivos e políticas; restrições; impactos; tempo-horizonte; influências e outros detalhes do problema a ser solucionado, como por exemplo, o conjunto de alternativas, cuja escolha da melhor entre elas é o principal objetivo da tomada de decisão. Existem diversos modelos utilizados atualmente que utilizam estas informações, dentre os quais serão apresentados a seguir os mais conhecidos (Gomes; Gomes & Almeida, 2006).

Segundo Saaty (1991; 1996), um modelo de tomada de decisão multicriterial que traduza eficientemente um sistema e conduza à escolha da melhor alternativa deve ser simples de construção; adaptável tanto aos grupos e quanto aos indivíduos; natural à nossa intuição e ao pensamento geral. Além disso, o método deve encorajar a formação

de compromisso e do consenso e não deve exigir uma especialização excessiva para comunicar e administrar.

O MACBETH é método de abordagem interativa, baseado na teoria da utilidade multiatributo (MAUT). Este método utiliza decisões semânticas sobre as diferenças de atratividade de vários estímulos para apoiar o avaliador a quantificar esta diferença relativa para cada decisão (Costa & Chagas, 2004). Foi desenvolvido por Carlos Bana e Costa e Vansnick, na década de 1990. O método utiliza uma abordagem interativa, que auxilia a construção de medidas cardinais de julgamentos a respeito do grau de atratividade que elementos “aj” de um grupo finito de ações potenciais “A<sub>n</sub>” possuem em relação aos Pontos de Vista Fundamentais “PVF<sub>j</sub>”. Em linhas gerais, o problema é abordado em duas fases distintas: estruturação e avaliação.

ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*) foi desenvolvido no fim da década de 1960 (Figueira, Mousseau & Roy, 2005). Existem quatro variações desse método, consideradas como métodos de subclassificação, que são baseados em relações de classificação binária. Ou seja, pressupondo-se o conhecimento das preferências do decisor e a qualidade da avaliação pode-se admitir que uma ação *a* é igualmente boa, melhor ou pior que uma outra alternativa *b*. Essas variações permitem a inclusão da incomparabilidade e da intransitividade no modelo.

O PROMETHEE (Briggs, Kunsch & Mareschal, 1990) é um método que se baseia na relação de preferência entre as alternativas discretas envolvidas no problema em questão. Para tal, é definida uma função de preferência (*P*) entre duas alternativas (*a* e *b*), dada por  $P(a, b) = 0$ , se  $f(a) \leq f(b)$ , e  $P(a, b) = p[f(a) - f(b)]$ , se  $f(a) > f(b)$ , onde *f* é o critério de decisão analisado. A função *P* indica a intensidade de preferência da *a* sobre *b*, com base no desvio entre os valores de *f*. Isso é feito para cada critério, estando seu valor normalizado em um intervalo de 0 (indiferença) a 1 (preferência total). Para a classificação das alternativas, o método define o “índice de preferência global” de *a* sobre *b*,  $\pi(a, b)$ , para cada  $a, b \in X$  (sendo *X* o conjunto total de alternativas). Assim, o índice  $\pi(a, b)$  é uma medida da preferência de *a* sobre *b*, em relação a todos os critérios. Com isso, a avaliação de cada alternativa,  $a \in X$ , pode ser efetuada considerando a determinação de dois outros valores: o “fluxo de importância positivo”  $\emptyset_+(a)$  e o “fluxo de importância negativo”  $\emptyset_-(a)$ . A classificação das alternativas é feita considerando, para cada  $a \in X$ , o “fluxo de importância líquido”:  $\emptyset(a) = \emptyset_+(a) - \emptyset_-(a)$ . A alternativa que alcançar o maior valor  $\emptyset$  é considerada a melhor.

O AHP (Análise Hierárquica ou *Analytic Hierarchy Process*) se baseia na representação de um problema complexo por meio da estruturação hierárquica do mesmo, ou seja, objetiva priorizar os fatores na análise das diversas alternativas. Este método segue quatro etapas básicas: estruturação hierárquica, comparação paritária dos

elementos em cada nível do sistema, princípio de priorização e sintetização de prioridades (Costa, 2006). Uma das vantagens do método AHP é permitir que o usuário atribua pesos relativos para múltiplos critérios, ou múltiplas alternativas para um dado critério, de forma intuitiva, ao mesmo tempo em que realiza uma comparação par a par entre os mesmos. Isso permite que, mesmo quando duas variáveis são incomparáveis, com os conhecimentos e a experiência das pessoas, pode-se reconhecer qual dos critérios é mais importante (Saaty, 1991). O AHP é o mais usado no mundo e já foi aplicado para algumas tomadas de decisão na cultura da cana-de-açúcar. Costa e Moll (1999) utilizaram esta metodologia para decidir sobre qual variedade de cana o produtor deveria usar considerando-se o tipo de solo, o manejo da cultura, seu ciclo (cana de ano ou cana de ano e meio), a produtividade e sua resistência a pragas e doenças. A destinação final dos resíduos da agroindústria da cana foi estudada por Soares e Erthal (2011). Estes autores concluíram, por ferramenta de multicritério, que a cogeração é a melhor forma de aproveitamento do bagaço da cana em agroindústrias de pequeno e médio porte. No entanto, nas usinas de grande porte, que esmagam mais de 400 ha de cana/ano, a produção de etanol de segunda geração (etanol ligno-celulósico) seria a melhor alternativa de uso dos resíduos.

## **METODOLOGIA**

A formalização de um método que permita por meio de recursos mensuráveis estabelecerem critérios e seus correspondentes pesos ou valores a serem atribuídos para diferenciais. Esses critérios foram propostos por Saaty (1991), por meio do método AHP, já que não somente a seleção de decisão, como também o que será decidido se faz importante, tanto para balizar sequências de escolhas, quanto os benefícios a serem alcançados e quais podem ser suprimidos, de acordo com seu grau de importância ou impacto.

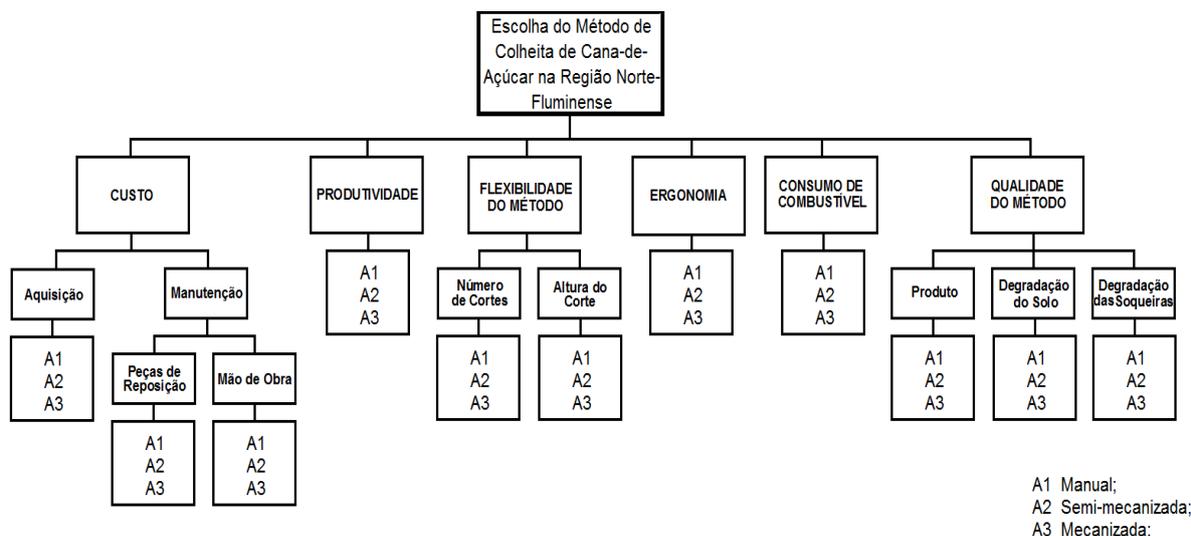
Os métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) não têm a pretensão de substituir o especialista quanto à escolha da decisão a ser tomada, mas sim dotá-lo de uma ferramenta de assessoramento. Afinal, esta autoridade humana sofre influências de aspectos emocionais e afetivos (Gomes *et al.*, 2006). O uso de métodos AMD possibilita que esta pesada decisão seja equilibrada e tenha maior grau de consistência.

Os elementos de uma hierarquia no AHP: O foco principal ou objetivo global, alternativas viáveis, critérios e subcritérios do problema em questão estão descritos no Quadro 1.

Foco Principal	Crítérios	Subcritérios	Subcritérios	Alternativas
Seleção de Método de Colheita de Cana-de-açúcar	Custo	Aquisição		Manual Semi-Mecanizada Mecanizada
		Manutenção	Peças de Reposição Mão de Obra	
	Produtividade			
	Flexibilidade do Método	Número de Cortes		
		Altura do Corte		
	Ergonomia			
	Consumo de Combustível			
	Qualidade do Método	Produto		
		Degradação do Solo		
		Degradação das Soqueiras		

**Quadro 1.** Elementos usados na estruturação do problema de escolha do método de colheita da cana-de-açúcar.  
Fonte: Elaborado pelos autores.

Foi feita estudo de caso com as principais usinas produtoras de álcool e açúcar, onde através de pesquisa exploratória de dados das formas de colheita, frente a cada método, se obteve a realidade do setor. Através de um questionário exploratório buscou-se identificar e estratificar quais são os meios utilizados na colheita da cana. O questionário foi usado para obter informações sobre os critérios: custos, produtividade, flexibilidade, ergonomia, consumo de combustível e qualidade do método de colheita. Na Figura 3 pode-se observar a estrutura hierárquica do problema.



**Figura 3.** Estrutura hierárquica do problema de escolha do método de colheita de cana-de-açúcar na região Norte Fluminense.  
Fonte: Elaborada pelos autores.

A escolha e a ponderação de pesos dos critérios e subcritérios usados foi elaborada através de um questionário que foi aplicado junto aos profissionais da área do Norte do Estado do Rio de Janeiro, cuja economia está fortemente atrelada à agroindústria sucroalcooleira.

Concluída esta etapa, a avaliação será realizada com o auxílio da ferramenta Ipê 1.0. Trata-se de *software* livre do método AHP desenvolvido no âmbito do projeto “Análise Multicritério Aplicada a Sistema de Ordenação e Priorização” apoiado pelo CNPq (Costa, 2005).

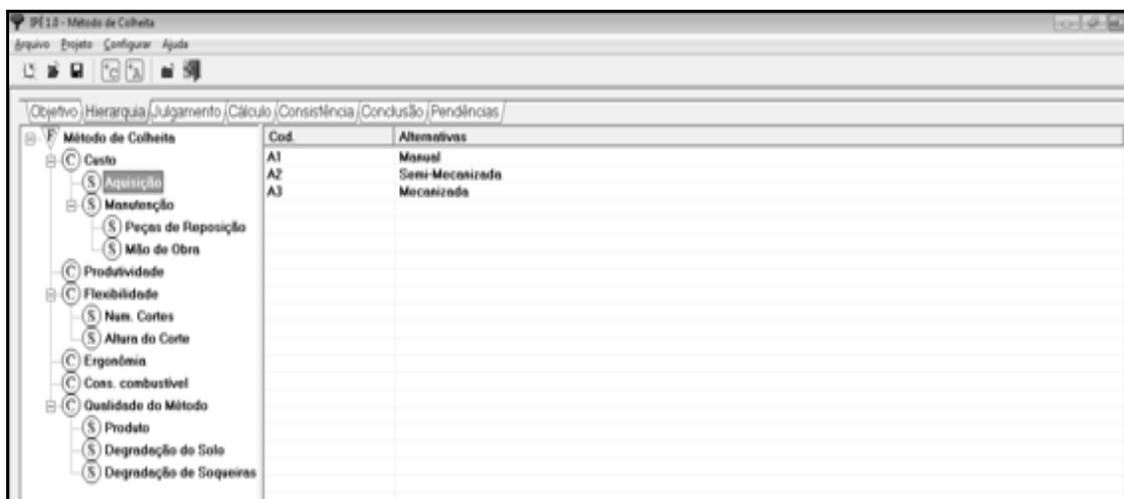
Os cálculos das prioridades foram realizados em quatro etapas: a) Obtenção do “Quadro de julgamentos”; b) Obtenção do “Quadro de julgamento normalizados”; c) Obtenção de prioridades médias locais (estes resultados não foram apresentados neste trabalho); d) Obtenção de prioridades médias globais. A sensibilidade do método é estimada pela Razão de consistência que deve ser  $\leq 0,1$ . As etapas metodológicas do método AHP, podem ser visualizadas no trabalho de Mendes, Erthal Junior e Hosken (2013).

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a aplicação do questionário, foi iniciado o carregamento da hierarquia proposta no software Ipê (Figura 4). Em seguida, foi realizada a etapa de julgamento dos pesos dos critérios e sub-critérios, segundo a visão dos especialistas. No AHP, o avaliador compara par a par os elementos de uma camada ou nível de hierarquia. A ponderação dos pesos dos critérios e subcritérios, realizada pelo Ipê, definiu os critérios custo, consumo de combustível e produtividade como os mais importantes, enquanto que os critérios flexibilidade e ergonomia receberam os menores pesos (Figura 5).

Após a ponderação dos pesos de critérios, as alternativas (manual, semi-mecanizada e mecanizada) foram avaliadas a luz de cada um dos critérios e subcritérios que compõem o problema, estabelecendo-se, assim, a prioridade local das alternativas (Figura 6).

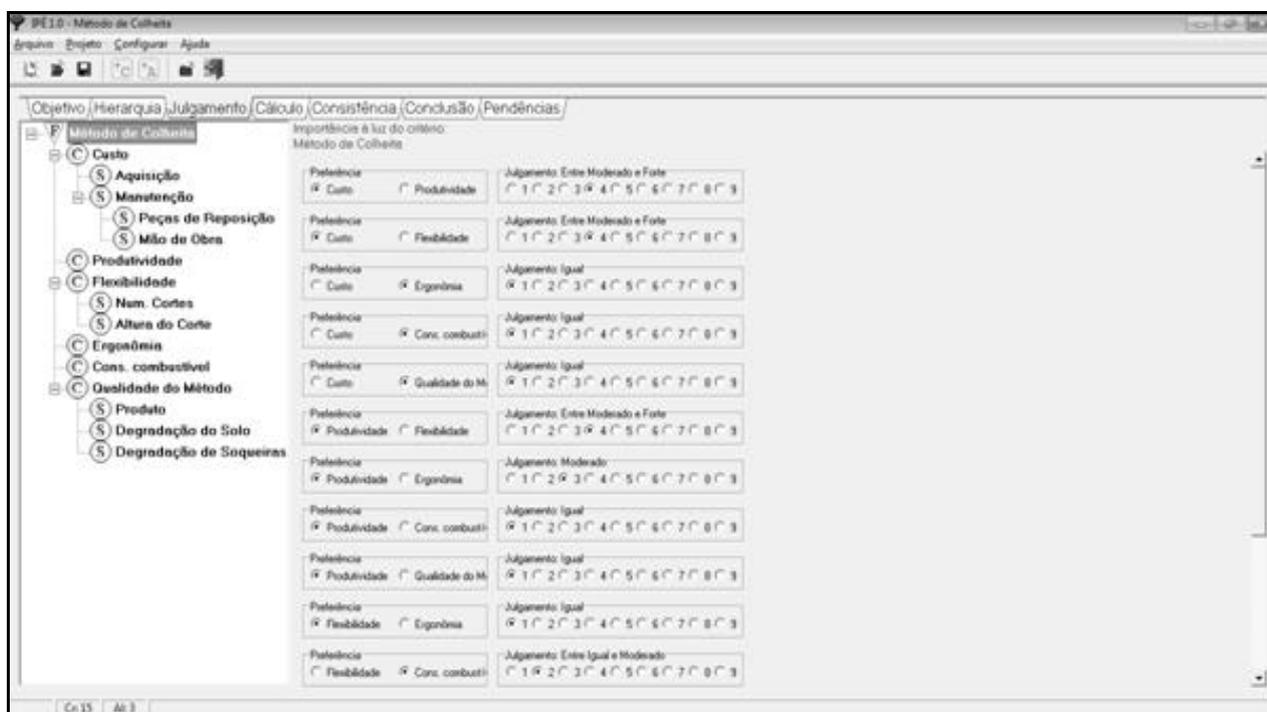
Em seguida foi calculada a razão de consistência do objetivo principal e de cada critério e subcritério. Mesmo quando os julgamentos paritários estão fundamentados na experiência e conhecimento de profissionais da área, inconsistências podem ocorrer, principalmente quando existe um grande número de julgamentos. No problema do presente artigo, ocorreram inconsistências (razão de consistência (RC)  $> 0,1$ ) no cálculo de alguns critérios, conforme ilustra a Figura 7. Para sanar essa situação foi necessária a readequação dos pesos dos critérios envolvidos.



**Figura 4.** Elaboração da hierarquia de critérios e sub-critérios no software Ipê.  
 Fonte: Elaborada pelos autores.

Cálculo das prioridades: Método de Colheita	
Custo	0,254
Produtividade	0,194
Flexibilidade	0,076
Ergonomia	0,115
Cons. combustível	0,198
Qualidade do Método	0,164

**Figura 5.** Cálculo dos pesos atribuídos aos critérios no software Ipê.  
 Fonte: Elaborada pelos autores.



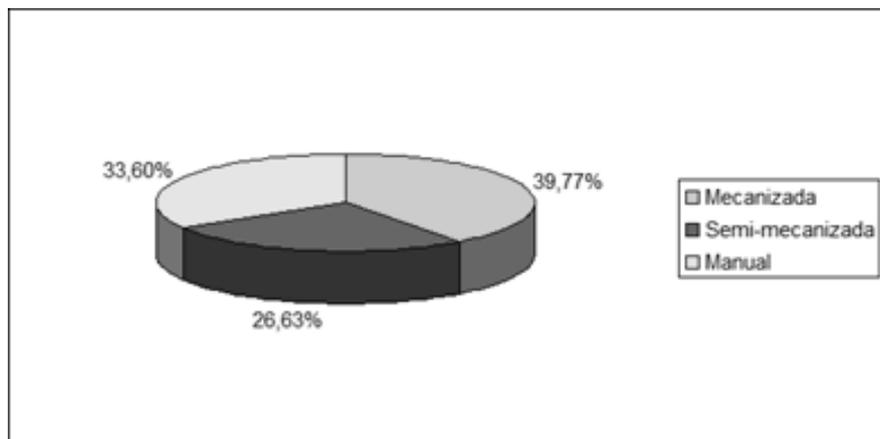
**Figura 6.** Layout do software Ipê, mostrando o julgamento das alternativas à luz dos critérios e sub-critérios do problema.  
 Fonte: Elaborada pelos autores.

**Análise de consistência**  
**Qualidade do Método**  
 Razão de consistência encontrado: 0,144  
 Valor fora dos padrões (RC > 0,1)

**Figura 7 –** Análise de consistência da Qualidade do Método – software Ipê.  
 Fonte: Elaborada pelos autores.

Com a adequação de todas as razões de consistência, foi possível concluir a execução do método AHP e obter a melhor alternativa para o problema. Dessa forma, a melhor alternativa indicada pelo AHP é o método de colheita mecanizada, com 39,8%.

Devido às características do método AHP, não é possível afirmar qual é a segunda melhor alternativa, sendo necessário executar novamente o método caso a alternativa selecionada tenha que ser descartada. As porcentagens para seleção da melhor alternativa estão na Figura 8.



**Figura 8.** Prioridade global das alternativas à luz do objetivo do problema.

Fonte: Elaborada pelos autores.

O uso de tecnologias mais avançadas na agricultura representam vantagens competitivas, sustentabilidade ecológica (MAPA, 2011). Este trabalho mostra que a colheita da cana realizada de forma totalmente mecanizada, ou seja, uma metodologia tecnologicamente avançada, deveria ser adotada considerando-se os critérios custo do equipamento (aquisição e manutenção), produtividade, flexibilidade durante o corte (quantidade colhida e altura de corte), aspectos ergonômicos, consumo de combustível e a qualidade do serviço (aspectos ambientais e da cultura).

A implantação deste processo na região Norte Fluminense poderia colaborar para a ascensão deste setor que, atualmente encontra-se decadente. Apesar da tradição no cultivo de cana e por ser a principal atividade agrícola da região, a produtividade desta cultura é muito baixa (menos de 50 ton./ha), devido as más condições das lavouras (Garcia & Souza, 2010). Segundo estes autores, a colheita mecanizada faz o trabalho de 26 homens e proporciona aumento de lucratividade de cerca de 30%. Estes resultados mostram que a colheita mecanizada deveria ser adotada e corroboram os resultados deste artigo.

Costa e Moll (1999) utilizaram o método AHP para selecionar novas variedades de cana-de-açúcar para início de safra (RB72454, RB765418, RB739735, SP801842 e SP791011) e para o fim de safra (CB45-3, SP711406, RB739359 e SP701143). A escolha foi realizada a partir do seguinte conjunto de critérios: tipo de solo, a produtividade, o teor de sacarose, longevidade da cultura e resistência a pragas e doenças. Com estes critérios foi possível selecionar a variedade ideal em função do tipo de solo, manejo da irrigação, topografia do terreno e período de colheita.

O método AHP foi usado para avaliar a melhor alternativa para a destinação final dos resíduos sólidos da agroindústria canavieira no município de Campos dos Goytacazes, RJ (Soares & Erthal Junior, 2011). Através dos critérios: custo das instalações de equipamentos, custo de manutenção de equipamentos, impacto ambiental, facilidade de comercialização e incentivo governamental foi possível determinar a melhor alternativa para a utilização do bagaço da cana para usinas de pequeno, médio e grande porte. Dentre as alternativas estabelecidas (compostagem anaeróbia, compostagem aeróbia, peletização para briquetagem, cogeração e produção de etanol lignocelulósico) a cogeração e a produção do etanol lignocelulósico foram consideradas as melhores práticas para uso do bagaço.

Sendo uma ferramenta de auxílio à decisão, O AHP possibilita o reconhecimento e tratamento da subjetividade inerente aos processos decisórios, evitando assim que sejam tomadas decisões apenas pelo sentimento ou sensação que uma alternativa é melhor na visão do avaliador. Na utilização desta ferramenta, o problema de decisão é modelado pela construção de hierarquias, nas quais podem ser considerados múltiplos critérios e subcritérios. Nele os resultados são apresentados sob a forma de prioridade. Isto permite avaliar com que intensidade uma alternativa é superior a outra, de um ponto de vista global. Ressalta-se que o método AHP indica apenas a melhor opção, caso seja necessário eliminar uma das alternativas por qualquer motivo, temos que executar novamente o método com o intuito de descobrir a nova melhor alternativa. Registra-se que o AHP é uma metodologia de auxílio à decisão, portanto, a qualidade dos resultados apresentados depende fortemente da qualidade da modelagem das avaliações envolvidas.

## **CONCLUSÃO**

Para o problema de seleção de método de colheita, o AHP indicou como melhor alternativa o método mecanizado, o qual está em crescente popularização em todo o mundo, seja por questões ambientais, pela alta capacidade e rapidez na colheita ou pela queda de seu custo de implantação. Este panorama reflete a eficiência no método AHP para seleção da melhor alternativa.

Podem ser atribuídas algumas considerações que limitam o método AHP tais como, a subjetividade do tomador de decisão, ocasionando um viés nas escolhas, o que pode ocorrer se o analisador não possuir a sutileza das pequenas variações ocasionadas nas mudanças nos cenários. As comparações aos pares podem se tornar extensas, gerando um grande número de tabelas, tendenciando a exclusão de atributos.

Trabalhos futuros poderão buscar as evidências das melhorias em termos de Desenvolvimento ambiental devido às políticas governamentais, através de leis que

determinam a diminuição das queimadas nas plantações de cana-de-açúcar do Sudeste brasileiro. Já que diversas empresas do setor estarão tendo o incentivo macroeconômico do aumento da produção de álcool anidro e de biodiesel, tanto para os mercados interno e externo.

## REFERÊNCIAS

- Briggs, T., Kunsch, P. L., & Mareschal, B. (1990). Nuclear Waste Management: An Application of the Multicriteria PROMETHEE Methods. *European Journal of Operational Research*, 44, 1-10.
- Campos, C. M. (2007). *Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção da cana-de-açúcar*. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.
- CEPAL, BNDES, CGEE & FAO (2008). *Bioetanol de cana-de-açúcar energia para o desenvolvimento sustentável*. Resumo executivo. Recuperado em 01 de outubro, 2011, de <[http://www.bioetanoldecana.org/pt/download/resumo\\_executivo.pdf](http://www.bioetanoldecana.org/pt/download/resumo_executivo.pdf)>
- Companhia Nacional de Abastecimento (2012). *Acompanhamento da safra brasileira – Cana-de-açúcar Safra 2011/2012*. Terceiro levantamento. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, DF.
- \_\_\_\_\_ (2013). *Acompanhamento da safra brasileira – Cana-de-açúcar Safra 2013/2014*. Segundo levantamento. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, DF.
- Copersucar (1995). *Gráficos de desempenho da produção de açúcar, álcool e cana-de-açúcar das safras de 83/84 até 93/94 no Brasil*. Piracicaba. Centro de Tecnologia da COPERSUCAR - CTC. Piracicaba, SP.
- Costa, C. A. B. & Chagas, M. P. A. (2004). A career choice problem: An example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments. *European Journal of Operational Research*, 153, 323-331.
- Costa, H. G. (2005). Ipê: guia do usuário. *Relatório de Pesquisa em Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense*, 6(3): 243-256.
- Costa, H. G. (2006). *Auxílio Multicritério à Decisão: método AHP*. Rio de Janeiro: ABREPRO.
- Costa, H. G., & Moll, R. N. (1999). Emprego do método de análise hierárquica (AHP) na seleção de variedades para o plantio de cana-de-açúcar. *Gestão & Produção*, 6(3): 243-256.
- Deere. J. (2011). *Clima seco persiste e prejudica colheita de cana-de-açúcar na região centro-sul*. Recuperado em 12 de novembro, 2014, de <<http://www.unica.com.br/noticia/36562050920341709819/clima-seco-persiste-e-prejudica-colheita-de-cana-de-acucar-na-regiao-centro-sul>>
- Figueira, J., Mousseau, V., & Roy, B. (2005). Electre methods. In: J. Figueira, S. Greco & M. Ehrgott (Orgs.). *Multiple Criteria Decision Analysis – state of the art surveys*. New York: Springer Science+Business Media.
- Garcia, J. C. C, & Sperling, E. V. (2010). Emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 15(3): 217-222.
- Garcia, R. F. & Souza, L. S. (2010). Avaliação do corte manual e mecanizado de cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ. *Engenharia na agricultura*, 18(3), 234-240.
- INOVAE - *Journal of Engineering and Technology Innovation, São Paulo*, v. 3, n.1, p.21-38, set./dez., 2015. 35

- Gava, G. J. C., Trivelin, P. C. O., Vitti, A.C., & Oliveira, M.W. (2003). Recuperação do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 27(4), 621-630.
- Gomes, L. F. A. M, Gomes, C. F. S. & Almeida, A. T. (2006). *Tomada de decisão gerencial: Enfoque multicritério*. São Paulo: Atlas, 2. ed.
- Guilhoto, J. J., Barros, A. L. M., Marjotta-Maistro, M. C., & Istake, M. (2002). Mechanization process of the sugar cane harvest and its direct and indirect impact over the employment in Brazil and in its 5 macro regions. *Munich Personal RePEc Archive*, 38070(23), 1-29. Recuperado em 12 de novembro, 2014, de <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/38070/>
- Instituto de Economia Agrícola. (2008). *Índice de mecanização na colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e nas regiões produtoras paulistas*. Análises e Indicadores do Agronegócio, 3(3). Recuperado em 12 de novembro, 2014, de <http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=9240>
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2011). *Agricultura de precisão*. Boletim técnico, Brasília, DF.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009). *Balanço Comercial do Agronegócio*. Brasília, DF. Recuperado em 15 de outubro, 2012, de <http://www.agricultura.gov.br/agrostatbrasil>
- Mendes, L. F. R., Erthal Junior, M., Hosken, L. A. L. (2013). Seleção de sistema de fornecimento de energia elétrica para propriedades rurais litorâneas localizadas no Norte do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Eletrônica Produção & Engenharia*, 4(1), 338-345.
- Moraes, M. A. F. D. (2007). Mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades. *Economia Aplicada*, 11(4), 605-619.
- Nova Cana (2014). *A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo)*. Recuperado em 09 de novembro, 2011, de <http://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo/>.
- Paes, L. A. D. (2007). Emissões nas queimadas de cana. In: I. C. Macedo (Org.). *A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade*. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, 2ª. ed.
- Ribeiro, H., & Pesqueiro, C. (2010). Queimadas de cana-de-açúcar: avaliação de efeitos na qualidade do ar e na saúde respiratória de crianças. *Estudos Avançados*, 24(68), 255-271.
- Saaty, T. L. (1991). *Método de Análise Hierárquica*. Makron Books do Brasil Editora Ltda.
- Saaty, T. L. (1996). *Decision Making with Dependence and Feedback: the analytic network process*. Pittsburgh-PA.
- Salomon, V. A. P. (2004). *Desempenho da Modelagem do Auxílio à Decisão por Múltiplos Critérios na Análise do Planejamento e Controle da Produção*. Tese de Doutorado, Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, Brasil.
- Scopinho, R. A. (2000). Qualidade total, saúde e trabalho: uma análise em empresas sucroalcooleiras paulistas. *Revista de Administração Contemporânea* 1, 93-112.

- Secretária da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná (2011). *Análise da conjuntura agropecuária*. Recuperado em 05 de outubro, 2011, de <[http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/cana\\_0809.pdf](http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/cana_0809.pdf)>
- Soares, A. G. Jr., & Erthal Junior, M. (2011). Um enfoque multicriterial para a destinação final dos resíduos sólidos da agroindústria canavieira no município de Campos dos Goytacazes/RJ. *Anais XVIII Simpósio de Engenharia de Produção*, 1-13.
- Souza, Z. M., Prado, R. M., Paixão, A. C. S., & Cesarin, L. G. (2005). Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40, 271-278.
- Sparovek, G., Alleoni, L. R. F., Pereira, J. C., & Rossetto, R. (1997). Aptidão das terras de Piracicaba para o corte mecanizado de cana-de-açúcar. *STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 15(5), 14-7.
- Trivelin, P. C. O., Simões, J. C. R., & Victoria, R. L. (1996). Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-<sup>15</sup>N e uréia- <sup>15</sup>N aplicado ao solo em complemento a vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 31(1), 89-99.
- União dos Produtores de Bioenergia (2007). *Governo e UNICA assinam protocolo de cooperação para desenvolvimento sustentável da indústria canavieira*. Recuperado em 09 de julho, 2011, de <<http://www.udop.com.br/geral.php?it em=noticia&cod=70740#>>
- Veiga Filho, A. A., & Santos, Z. A. P. (1995). Padrão tecnológico da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: evidências da evolução na cultura. *Informações Econômicas*, 25(8), 15-25.
- Veiga Filho, A. A. (1998). Experiências históricas internacionais de mecanização do corte da cana-de-açúcar. *Informações Econômicas*, 28(7), 11-21.

## CANE SUGAR HARVEST METHOD OF SELECTION IN THE REGION NORTH FLUMINENSE FOR AID THROUGH THE DECISION MULTICRITERIA

### ABSTRACT

This article aims to identify the best method of harvesting the sugarcane with the application of Multicriteria Decision Aid. Using the criteria: cost (acquisition, maintenance and fuel), productivity, flexibility (height and number of cuts), ergonomics and quality (conservation of soil and stumps) the Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to select the best choice of harvest. Data were collected by survey to managers of sugarcane industry of Norte Fluminense region. The method of fully mechanized harvesting should be adopted in relation to other alternatives studied: semi-mechanized and manual harvesting. The work confirms results of other studies that indicate that mechanization is a viable option and could be used to improve productivity levels in the study area. Mechanized option is recommended on the basis of environmental attributes, high capacity and speed in the harvest.

**Keyword:** Analytic Hierarch Process, *Sacharium* spp., Agriculture.

## MÉTODO DE CAÑA DE AZÚCAR COSECHA DE SELECCIÓN EN EL NORTE FLUMINENSE REGIÓN DE AYUDA A TRAVÉS DE LA DECISIÓN MULTICRITERIO

### ABSTRACTO

Este artículo tiene como objetivo identificar el mejor método de cosecha de caña de azúcar con la aplicación de un método de ayuda a la decisión multicriterio. Por los criterios: costo (adquisición, mantenimiento y combustible), la productividad, la flexibilidad (altura y número de cortes), la ergonomía y la calidad del método (la conservación del suelo y puños americanos) el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) se utilizó para seleccionar la mejor opción de la cosecha. Los datos fueron obtenidos mediante la aplicación de cuestionario a ingenios azucareros gerentes de región Norte Fluminense. El método de cosecha totalmente mecanizada debe ser adoptado por otras alternativas estudiadas: la cosecha semi-mecanizada y la cosecha manual. Este trabajo confirma los resultados de otros estudios que indican que la mecanización es una opción viable y se podría utilizar para mejorar los niveles de productividad en el área de estudio. Mecanizada opción se recomienda a partir de los atributos ambientales, de alta capacidad y cosecha rápida.

**Palabras clave:** Proceso de Revisión jerárquicas, *Sacharium* spp., Agricultura.