

## **UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELETRICA: UM ESTUDO DE CASO NA USINA DE IPAUSSU, ESTADO SÃO PAULO**

## **USE OF SUGARCANE BAGASSE FOR PRODUCTION OF ELECTRIC ENERGY: A CASE STUDY IN AN DESTILERY IN IPAUSSU, SÃO PAULO STATE**

<sup>1</sup>PIRES, L.; <sup>2</sup>MAIA. J. S.

<sup>1e2</sup>Departamento de Ciências Biológicas –Faculdades Integradas de Ourinhos-FIO/FEMM

### **RESUMO**

A produção de energia no setor sucroalcooleiro ocorre devido à geração de vapor na caldeira, o qual consiste em um equipamento destinado à produção de vapor, utilizando uma determinada pressão de acordo com a sua capacidade. Para que não haja perdas na produção de vapor, a usina necessita considerar vários fatores, assim como o combustível que está sendo utilizado no setor. Normalmente o bagaço, que é um subproduto da extração da cana, vem sendo gerado em grandes quantidades, tornando-se uma nova fonte de renda para o setor. A outra forma de melhorar o rendimento térmico faz-se através da qualidade da água que é utilizada na produção de vapor, sendo que o ar que entra nas fornalhas também deve ser considerado juntamente ao rendimento térmico e as emissões de partículas lançadas para a atmosfera. O objetivo deste trabalho foi demonstrar como funciona a produção de energia provinda de biomassa. Foi constatado que, a Usina produz energia somente para o consumo próprio, mas com investimentos e novas tecnologias, torna-se possível produzir energia em excedente, tornando o mercado energético mais competitivo.

Palavra chave: Bagaço, Caldeira, Bioenergia.

### **ABSTRACT**

The Energy production in the biofuels industry is due to the generation of steam in the boiler, which consists of an equipment for producing steam using a pressure determined in accordance with its capabilities. To avoid losses in the production of steam, the plant needs to consider several factors, like the fuel being used in the industry. Usually bagasse, which is a byproduct of the extraction of sugar cane, was generated in large quantities, making it a new source of income for the sector. The other way to improve the thermal efficiency is through the quality of water that is used to produce steam, and the air entering the furnace to promote combustion, is also on another important factor, being also necessary to consider together other factors, the thermal efficiency and particulate emissions released into the atmosphere. The aim of this study was to demonstrate how the production of energy from a fuel coming from a biomass. It was found that the plant produces power only for personal consumption, but with investments and new technologies, it becomes possible to produce excess energy, turning the energy market more competitive.

Keyword: Sugar cane bagasse, oiler, Bioenergy.

### **INTRODUÇÃO**

A energia produzida no Brasil para consumo industrial e doméstico vem aumentando a partir de fontes como as hidrelétricas e da cana de açúcar, conseqüentemente diminuindo o consumo da importação do petróleo e gás natural. Devido ao crescimento econômico do Brasil, reservas de combustível fóssil podem

ser consumidas rapidamente, agravando os danos ambientais. Uma solução seria a utilização dessas reservas de combustível fósseis de forma eficiente, aumentar fontes de energia renovável, através do uso de novas tecnologias. (GOLDEMBERG, 2000).

Segundo Goldemberg e Nigro (2008), o Brasil é capaz de liderar na produção de energia por biomassa, sem deixar de produzir alimentos, devido à grande quantidade de terra com pastagens degradadas, onde pode ser inserida a cana de açúcar e também culturas que possibilitem a rotação de cultura, tornando rentável para o produtor.

Conforme cita Abreu (1999), após o início da privatização do setor de energia elétrica criou-se a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), foi criado para fiscalizar e regulamentar as atividades do setor energético. Devido ao fato de que energia elétrica não poder ser armazenada, a energia tem que ser consumida imediatamente à sua produção. Para tanto, há a necessidade de haver maior eficiência na geração, transmissão e a distribuição dessa energia.

O uso de resíduos da cana-de-açúcar para a geração de eletricidade apresenta diversos aspectos positivos, como a produção de energia através de uma fonte renovável, contribui para a necessidade energética nacional, produz energia em épocas de menor pluviosidade, possibilita um novo modelo de mercado competitivo. (FILHO, 2003).

O setor sucroalcooleiro é auto-suficiente na produção de energia, sendo que para a produção dessa energia é utilizado o próprio bagaço da cana e a palha. (SOUZA; AZEVEDO, 2003).

De acordo com Eid, Chan e Pinto (1998) 90% da energia consumida pelo setor canavieiro provinham da queima do bagaço, utilizando essa energia dentro da própria usina, sendo que na década de 80 não existia a preocupação em economizar o uso dessa energia, nem em gerar excedente. Somente a partir de 1987, as usinas do Estado de São Paulo começaram a se preocupar em comercializar o excedente dessa energia.

Com a queima do bagaço em caldeiras no setor sucroalcooleiro, diversos gases são emitidos, como os óxidos de carbono (CO e CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e materiais particulados. A emissão de NO<sub>x</sub> pode ser diminuída através de tecnologia ou procedimentos de prevenção. (PRIMO, 2005).

Segundo Pellegrini (2002), a umidade do bagaço interfere diretamente no rendimento de combustão, pois com menor umidade ocorrerá à queima mais rápida do combustível, pois o tempo de secagem é menor.

O rendimento térmico das fornalhas está inter-relacionados com a quantidade de ar, que vai interferir na eficiência da combustão, quando há excesso de ar tende a diminuir a temperatura da chama e aumentar a perda de calor, reduzindo a eficiência térmica, caso tenha baixa quantidade de ar a combustão vai ser incompleta com isso vai ocorrer risco de explosão por causa do acúmulo de combustível não queimado. (PINHEIRO; VALLE, 1995).

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) é um órgão vinculado com a ELETROBRAS, que é responsável pela eficiência energética que através de procedimentos possam reduzir o desperdício de energia elétrica, com o uso racional dessa energia, na iluminação, condutores elétricos, motores elétricos, consumo de água, instalações elétrica, controle da demanda, etc. (FILHO, 2007).

Assim, o objetivo deste trabalho consiste em mostrar o funcionamento no setor sucroalcooleiro, quanto à produção de energia provinda desse tipo de biomassa.

## MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho foi realizado em uma Usina de cana de açúcar, localizada no município de Ipaussu, Estado de São Paulo, no período de março à dezembro de 2009.

Os dados foram obtidos com base em documentos arquivados pela empresa, além de um acompanhamento e identificação do processo de geração de energia. A visita foi realizada com o monitoramento de técnico especializado para se obter melhor compreensão do processo.

O procedimento para determinar a umidade e a polarização (Pol) foi de acordo com a metodologia de a empresa descrita a seguir:

**Determinação da umidade** - Tarar o cesto de secagem; adicionar 50 gramas mais o menos 0,6 de bagaço no cesto de secagem; anotar peso úmido (P.U); secar em estufa Spencer a 105° C até peso constante; anotar peso seco (P.S)

**Calculo:** Umidade (%)= (PU-OS)x2

**Determinação da Polarização** - Pesar 200gramas de bagaço e colocar no copo do digestor com resfriamento; adicionar 2000 mililitros de água destilada medido em balão volumétrico; levar ao digestor por 15 minutos; peneirar o extrato do digestor e tomar cerca de 200ml; resfriar a amostra; adicionar clarificante a base de cloreto de alumínio; homogeneizar e filtrar em papel qualitativo; determinar leitura em sacarímetro automático (LAI);

**Cálculo** : $LPb=1,0078 \times LAI + 0,0444$

$Pol (\%) = (LPb \times 26 \times (1000+U) / (20000 - (L \times 26 \times 100/Q))$

LPb= Leitura sacarimétrica equivalente ao SuAcetato de Chumo

LAI= Leitura sacarimétrica com Cloreto de alumínio

U= Umidade (%)

Q= Pureza do caldo residual

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A usina teve uma moagem no período de safra de 2.154.142,66 toneladas, com uma produção de bagaço de 62.836.332,00 kg, sendo que desse total foram vendidos 18.221.440,00.

A partir das informações obtidas verificou-se que para haver um bom rendimento térmico no setor sucroalcooleiro é necessário um controle do combustível, do ar e da água utilizados na caldeira.

A caldeira é um equipamento destinado a produção de vapor através de vasos fechados que aquece a água e produz vapor para acionar caldeira, turbinas das moendas, turbo gerador de energia elétrica, turbo bombas para recalque de água, ventiladores / exaustores, aquecimento da matéria prima para a fabricação de açúcar e álcool, e deve seguir a norma de segurança que rege esse equipamento, é a **NR13(Norma Regulamentadora 13)**.

Para que haja a produção de vapor tem que haver a queima de um combustível. O combustível utilizado na usina é um subproduto da extração da cana, o bagaço, que é gerado em grande quantidade. Essa matéria prima é constituída por celulose, hemicelulose e lignina e após moagem ainda possui uma porcentagem de umidade e pol (sacarose).

A Tabela 1 apresenta a porcentagem de sacarose e umidade no período de março a dezembro de 2009. Esses valores são controlados, pois interferem no rendimento térmico da caldeira, sendo a empresa trabalha com porcentagem de sacarose menor que 2% e as caldeiras foram projetadas para trabalhar com umidade em torno de 50%.

**Tabela 1:** Controle de perdas de sacarose e umidade do bagaço

<b>Mês</b>	<b>Pol (sacarose)%</b>	<b>Umidade%</b>
Março	1,87	52,54
Abril	1,71	51,35
Mai	1,88	50,48
Junho	2,02	51,65
Julho	1,88	51,54
Agosto	2,03	51,45
Setembro	1,82	51,8
Outubro	1,88	51,99
Novembro	1,91	52,31
Dezembro	1,56	52,90

O tratamento da água foi realizado devido às impurezas granulares ou moleculares que causam corrosão, incrustação nos tubos, sedimentação, e formação de espumas que são arrastadas para as linhas de vapor, prejudicando a qualidade do mesmo, diminuindo a eficiência da caldeira.

Corrosão é o ataque sofrido pelos metais componentes do sistema de geração o vapor, provocando pela água e suas impurezas. A corrosão não provoca danos somente no ponto de ataque, pois produz contaminação serias de óxidos metálicos que, por sua vez, podem se depositar em outros lugares. A corrosão dos tubos na maioria das vezes é causada pela presença de gases.

Incrustação são deposições ou precipitações sólidas de natureza alcalina nas superfícies internas da caldeira, provocando redução na transferência do calor, o que se traduz em maior consumo de combustível, mantendo a potência da caldeira constante, elevação de temperatura de superfície dos metais com superaquecimento e eventuais rupturas.

Devido a esses fatores é feito uma dosagem de produtos químicos como: Soda Caustica Sulfito, T.D.S. (Tratamento Disperso Solubilizante), Inibidor e Anti Espumante para eliminar impurezas do tipo Oxigênio ( $O_2$ ) dissolvido na água, dióxido de carbono ( $CO_2$ ), e outros gases não condensáveis, outras impurezas presentes como ácidos livres, sulfúricos ( $H_2SO_4$ ) e nítricos ( $HNO_3$ ), sulfato de magnésio

(MgSO<sub>4</sub>), sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>), Silicato de cálcio e sílica e a presença de açúcares, utiliza-se também um desaerador para retirada dos gases nocivos (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>).

Para a produção de vapor é necessário uma fonte de calor que é proveniente da combustão, uma reação química do combustível com o ar formado basicamente dos componentes oxigênicos (O<sub>2</sub>) e Nitrogênio (N<sub>2</sub>). O controle da entrada do ar, da quantidade de combustível e da saída dos gases formados durante a combustão é feito com base na pressão da fornalha. A pressão alta pode significar um arraste de combustível, e uma diminuição da temperatura da fornalha e se estiver baixa pode ocasionar danos nos invólucros, riscos operacionais e materiais e risco de explosão.

Alguns fatores que podem ser observados na produção de vapor que causam perda no rendimento térmica são:

Chicanas quebradas, produção vapor maior que a nominal, tiragem muito alta e incrustações que é indicado por temperatura alta na saída do gás da caldeira, se a temperatura estiver baixa pode ser devido à produção reduzida e vazamento de tubulação do feixe.

A temperatura alta do gás na saída do pré-ar pode ser devido a arraste da fornalha e falta de ar no pré-aquecedor e a temperatura baixa pode indicar produção de vapor reduzida, vazamentos nos tubos do pré-ar.

O excesso de ar pode ser indicado por alta temperatura do vapor, se a temperatura estiver baixa pode ser devido à operação com nível alto no vapor arraste de água e incrustações internas e externas no superaquecedor.

O CO<sub>2</sub> indicado para caldeiras de forno ferradura esta entre 12 a 14% e caldeiras com grelha basculante entre 14 a 16% a alteração destes valores é um indicativo de perdas no rendimento térmico.

A pressão de vapor baixa pode significar, falta de tiragem, falta de ar, falta de combustível e umidade do bagaço alta.

O controle da oscilação do nível pode ser indicado pelo nível interno do tubulão, qualidade de água, controle de nível, pressão água alimentação.

A usina possui três caldeiras sendo duas produzindo 80 ton/h de vapor a uma pressão de 21Kgf/cm<sup>2</sup> e uma produzindo 40 ton/h de vapor a uma pressão de 16,85Kgf/cm<sup>2</sup>.

A tabela 2 representa quanto foi produzido de vapor no período de março a dezembro de 2009. Esse vapor é usado para produção de energia elétrica e também utilizado como trocador de calor em todo o processo de fabricação de açúcar e álcool, a tabela mostra quanto de vapor foi gerado entre os meses de março a dezembro e também quanto de vapor é produzido com uma tonelada de cana que pode variar devido a fatores como umidade, pol e funcionamento da caldeira.

**Tabela 2** - Produção de Vapor conforme meses (Março de 2009 a Dezembro de 2009, na Usina.

<b>Mês</b>	<b>Vapor gerado (t)</b>	<b>Kg vapor/tc</b>
Março	65186	528,16
Abril	137753	503,09
Maio	136948	483,1
Junho	121891	528,5
Julho	103664	551,22
Agosto	132315	464,32
Setembro	107377	510,02
Outubro	116306	516,28
Novembro	103527	485,45
Dezembro	62231	515,57

Após o vapor ser produzido na caldeira, esse vapor foi para a turbina onde foi transformado em energia térmica e em energia mecânica e com um gerador acoplado a turbina essa energia passa de energia mecânica para energia elétrica. Essas energias podem ser descritas abaixo de acordo com Resnick, Halliday e Krane, (2003).

A energia pode ser mudada de uma forma para outra, temos dois tipos de energia a cinética e a potencial e a soma destas duas energias é a energia mecânica.

Energia Cinética é a energia associada às partículas nos seus movimentos de translação, rotação e vibração (átomos, moléculas e íons), denominada energia térmica.

Energia Potencial é a energia associada à interação, atração ou repulsão entre partículas que constituem o sistema, há dois tipos de energia potencial a gravitacional e a elástica.

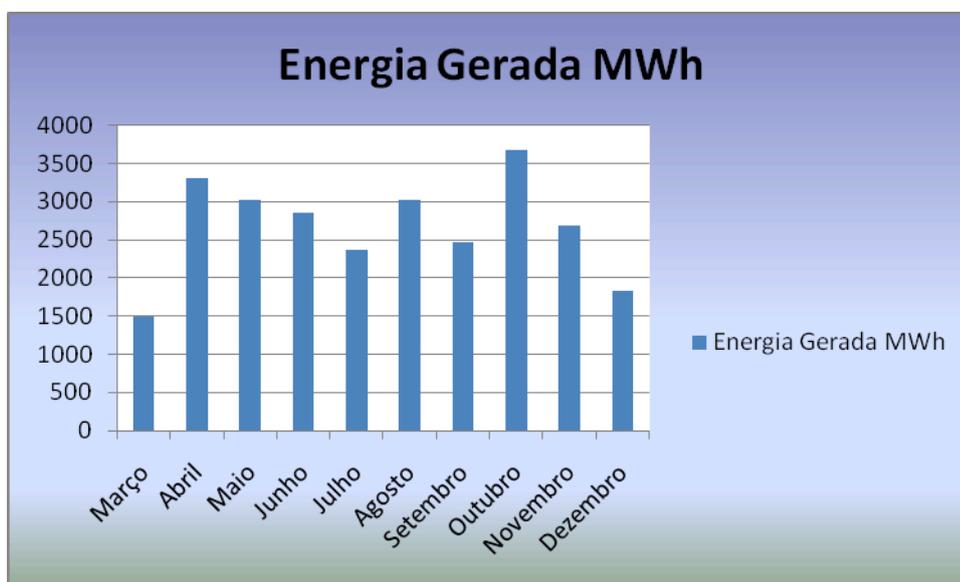
Energia Potencial Gravitacional está relacionada com a posição que um corpo ocupa no campo gravitacional terrestre e sua capacidade de vir a realizar trabalho mecânico.

Energia Potencial Elástica é a energia armazenada em uma mola comprimida ou distendida.

Os geradores que são utilizados são os eletromecânicos responsáveis por transformar energia mecânica em energia elétrica, que é a diferença de potencial entre cargas elétricas positivas e negativas.

A usina possui dois geradores, Mause e Toshiba, o vapor passa por uma turbina e logo após vai para o gerador onde ocorre a transformação da energia mecânica em energia elétrica. A tensão gerada pelos geradores é de 11400 volts, que vai ser transformada para valores de 440V, 380V e 220V em locais chamado CCM. A usina tem um consumo médio de 4900 KWH/h.

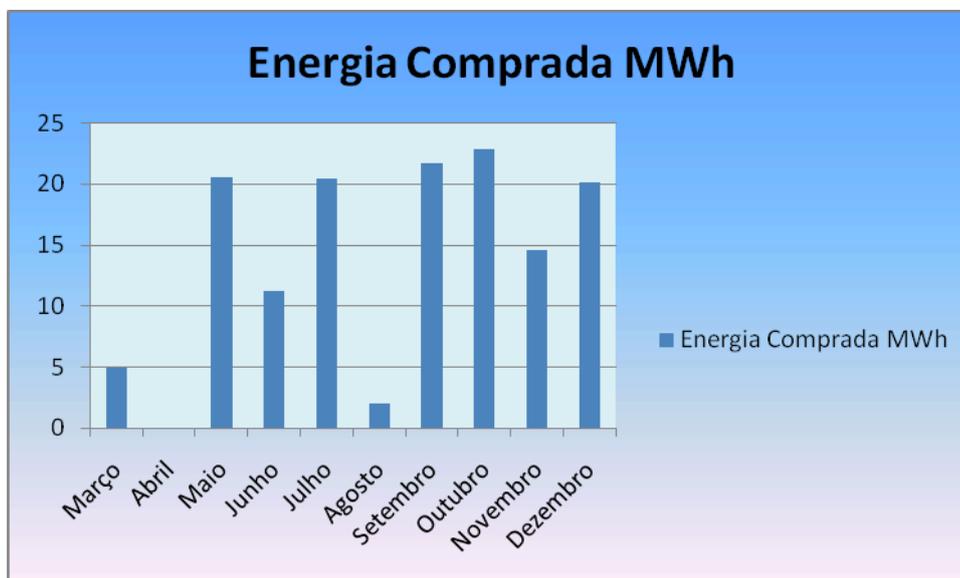
A Figura 1 mostra quanto de energia foi gerado no período de março a dezembro de 2009 sendo que 100% dessa energia é para consumo próprio, a usina produz conforme a necessidade do processo por isso pode oscilar, sendo em que os meses de março e dezembro em que a produção de energia foi menor devido ao início da safra que se iniciou no decorrer do mês e dezembro devido à safra terminar antes de completar o mês, os outros meses oscilou por causa de outros fatores com chuva e manutenção de equipamentos.



**Figura 1** – Produção de energia elétrica (em MWh), conforme meses (Março de 2009 a Dezembro de 2009, na Usina).

A Figura 2 mostra quanto à usina comprou de energia da CPFL, sendo que tal fato ocorreu devido às paradas da usina por motivo de chuva e manutenção, a compra dessa energia é somente para o funcionamento de algumas atividades da

empresa, e não para manter o processo de produção de açúcar e álcool, no mês de abril é possível ver que não houve a necessidade de compra de energia e nos outros meses houve uma oscilação.



**Figura 2-** Montante de energia elétrica comprada pela empresa, conforme meses de Março de 2009 a Dezembro de 2009, na Usina.

## CONCLUSÃO

O bagaço é o combustível utilizado pela empresa para produção de energia, obtido em grandes quantidades durante o processo de extração, tornou-se uma nova fonte de renda, além de possibilitar a competitividade no mercado dos derivados da cana de açúcar como o açúcar e o álcool, por isso a importância da eficiência na produção de vapor para produzir energia elétrica e como o controle durante o processo reduz perdas e melhora a qualidade do vapor com menor danos aos equipamentos. Um exemplo disso figura a empresa estudada em que todas as unidades situam-se como auto-sustentável na produção de energia. Doze de suas unidades já tem contrato para a venda de energia e a companhia, que já obteve apoio do BNDES, destinados a co-geração em quatro novas unidades do grupo, que quando totalmente instalada será capaz de abastecer o consumo de aproximadamente 12 milhões de pessoas.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Yolanda Vieira. **A reestruturação do setor elétrico brasileiro: questões e perspectivas**. 1999, 168 f. [Dissertação de Mestrado em Energia] - São Paulo, Instituto de Física - Universidade de São Paulo-USP. .

EID, Farid; CHAN, Kelson; PINTO, Sandro da Silva. Mudanças Tecnológicas e Co-Geração de Energia na Indústria Sucroalcooleira; **RECITEC**, Recife, v.2, n.1, p.48-57, 1998.

FILHO, João Mamede; **Instalações Elétricas Industriais**; 7 ed; Rio de Janeiro; 2007. 930 p.

FILHO, Sylvio Ortega; **O Potencial da Agroindústria Canavieira do Brasil**; FBT-Faculdades de Ciências Farmacêuticas- USP; Serrana, SP; Dezembro de 2003. Disponível em Disponível em [http://www.fcf.usp.br/Departamentos/FBT/HP\\_Professores/Penna/Estudo\\_Dirigido/Agroindustria\\_Canavieira.pdf](http://www.fcf.usp.br/Departamentos/FBT/HP_Professores/Penna/Estudo_Dirigido/Agroindustria_Canavieira.pdf). (acessado em 30/09/2010, as 23H:57min)

GOLDEMBERG, JOSÉ. Pesquisa e desenvolvimento na área de energia . **São Paulo Perspec.**, São Paulo, v.14, n. 3, p.91-97. 2000

GOLDEMBERG, José; NIGRO, Francisco E. B. ;Coelho, Suani T. **Bioenergia no Estado de São Paulo, situação atual, perspectivas, barreiras e propostas**; São Paulo; Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2008. 152 p.

PELLEGRINI, Maria Cristina. **Inserção de Centrais Cogeneradoras a Bagaço de Cana no Parque Energético do Estado de São Paulo: Exemplo de Aplicação de Metodologia para Análise dos Aspectos Locacionais e de Integração Energética**. 2002, 187 f. [Dissertação de Mestrado] – Programa Interunidades de Pós- Graduação em Energia – PIPGE (EP/FEA/IEE/IF).

PINHEIRO, Paulo Cesar da Costa e VALLE, Ramon Molina. **Controle de Combustão: Otimização do Excesso de ar**. In: II Congresso de Equipamentos e Automação da Indústria Química e Petroquímica, 09-11 Agosto 1995, Rio de Janeiro,RJ, Anais... Automação Industrial São Paulo:ABIQUIM, Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados, 1995, p.157-162.

PRIMO, Kristiane Ramos. **Formação, controle e dispersão atmosférica dos Óxidos de Nitrogênio decorrentes da queima de bagaço em caldeiras Industriais**. Itajubá-MG, 2005. 94 f. Monografia [Mestrado em Energia] - Universidade Federal de Itajubá. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David e KRANE, Kenneth S.**Física**1.quinta edição.Rio de Janeiro.p275-289-290-293-318 e 325, 2003.

SOUZA, Zilmar José de; AZEVEDO, Paulo Furquim de. Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir das usinas paulistas. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 44, n. 2, p.179-199. 2006.