

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE TECNOLOGIA EM GERENCIAMENTO AMBIENTAL

RAFAEL LUIZ BRUXEL

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MACARRÃO COMO COMBUSTÍVEL EM
CALDEIRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2011

RAFAEL LUIS BRUXEL

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE MACARRÃO COMO COMBUSTÍVEL EM CALDEIRA

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à disciplina Trabalho de Diplomação do curso Tecnologia em Gerenciamento Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito essencial à obtenção do título de Tecnólogo em Gerenciamento Ambiental.

Prof^a. Orientadora: Alice Jacobus de Moraes

MEDIANEIRA

2011



TERMO DE APROVAÇÃO

Utilização de resíduos de macarrão como combustível em caldeira

Por

Rafael Luis Bruxel

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 14:30 h do dia 20 de junho de 2011 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Gerenciamento Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

Prof. M.Sc. Alice Jacobus de Moraes
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Orientador)

Prof. M.Sc. Renato Santos Flauzino
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Dr. Rafael Arioli
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Convidado)

Prof. M.Sc. Agostinho Zanini
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Responsável pelas atividades de TCC)

RESUMO

BRUXEL, Rafael Luis. Utilização de resíduos de macarrão como combustível em caldeira. 2011. 29 f. Trabalho de conclusão de curso, apresentado à disciplina Trabalho de Diplomação do curso Tecnologia em Gerenciamento Ambiental do departamento de Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2011.

Esta pesquisa apresenta o desenvolvimento de um método de aproveitamento de resíduos de macarrão instantâneo, através da queima em caldeira, de maneira rentável e enquadrada à realidade financeira da empresa que viabilizou o projeto. Através de estudo dos métodos de queima em caldeiras e da legislação específica e de seus possíveis impactos ambientais, apresenta a utilização do resíduo de macarrão no auxílio à queima de cavaco de lenha. O resíduo de macarrão instantâneo utilizado neste estudo é proveniente de sobras ou erros nas etapas do processo de fabricação, que tornam o macarrão impróprio para comercialização e também pelo macarrão que retorna dos pontos de venda com o prazo de validade excedido. O método de queima foi escolhido devido às características de funcionamento da caldeira e às características inerentes ao resíduo de macarrão disponível na indústria. Este método consiste basicamente no transporte dos resíduos do local de armazenamento para a caldeira, onde é misturado com o cavaco de pinus e queimado. Além da queima em caldeira, apresenta-se também como alternativa a reincorporação do resíduo no processo de fabricação da massa e de sopão e a venda para fábricas de ração animal. Traz como resultado do estudo a situação em que a queima do resíduo em caldeira justifica-se apenas quando o valor da caloria do resíduo for menor do que o valor da caloria do cavaco, pois o valor pago pelas fábricas de ração não justifica a utilização deste resíduo como combustível.

Palavras-chave: Combustível alternativo. Impacto ambiental. Resíduos sólidos. Queima em caldeira.

ABSTRACT

BRUXEL, Rafael Luis. Use of waste from noodle as fuel in boiler. 2011. 29 f. Trabalho de conclusão de curso, apresentado à disciplina Trabalho de Diplomação do curso Tecnologia em Gerenciamento Ambiental do departamento de Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2011.

This research presents the development of a method of waste recovery of instant noodles, through of the burning in boiler, cost effectively and framed the financial reality of the company that enabled the project. By the study of methods of burning in boilers and specific legislation and its possible environmental impacts in the use of waste noodle in aid of the burning of wood splinter. The instant noodle residue used in this study comes from leftovers or errors in the manufacturing process steps, which makes it unsuitable for commercialization and the noodle that also returns the points of sale with the validity period exceeded. The method of burning was chosen due to operating characteristics of the boiler and the characteristics inherent to the residue of available noodle in the industry. This method consists basically in the transport of waste from storage to the boiler where it is mixed with pine splinter and burned. Besides the burning in the boiler, also presents itself as an alternative to reinstatement of waste in the dough and soup manufacturing process and sale for animal feed production plants. Brings as result of the study the situation in which the burning of waste in the boiler, is justified only when the calorie residue value is less than the calorie chip value, because the value paid by the animal feed factories do not justify the use of waste as fuel.

Keywords: Alternative fuel. Burning in boiler. Environmental impact. Solids wastes.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 MACARRÃO INSTANTÂNEO	10
2.1.1 Histórico	10
2.1.2 Mercado	11
2.1.3 Processo de fabricação	12
2.2 ÓLEO DE FRITURA	13
2.2.1 Destinação e impactos ambientais	14
2.2.2 Tecnologias de reciclagem	15
2.3 QUEIMA DE RESÍDUOS EM CALDEIRAS	16
2.3.1 Caldeiras	17
2.3.2 Condicionantes para uma caldeira receber resíduos	17
3 OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVOS GERAIS	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO	20
4.2 ORIGEM DO RESÍDUO DE MACARRÃO INSTANTÂNEO	21
4.2.1 Armazenamento do resíduo	21
4.2.2 Disponibilidade de resíduo	22
4.2.3 Reincorporação no Processo	22
4.3 QUEIMA DOS RESÍDUOS DE MACARRÃO INSTANTÂNEO EM CALDEIRA	23
4.3.1 Transporte do resíduo	23
4.3.2 Proporção de mistura e homogeneização	23
4.3.3 Queima	24
4.4 CALDEIRA	24
4.5 RESÍDUOS GASOSOS	26
4.6 RESÍDUOS SÓLIDOS	26
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	29

1 INTRODUÇÃO

Todo processo industrial está caracterizado pelo uso de insumos que submetidos a uma transformação, dão lugar a produtos, subprodutos e resíduos. Os resíduos originados pelas atividades industriais são de responsabilidade dos geradores, que são obrigados a gerenciar, transportar, tratar e providenciar o destino final destes.

Observa-se no Brasil a existência de poucos estudos sistemáticos sobre a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos industriais, sendo que a quantidade e qualidade do resíduo gerado assume importância considerável no processo de degradação ambiental e, além disso, em algumas regiões não existem unidades de tratamento e destinação final, ocasionando o lançamento inadequado de resíduo no ambiente.

A crise de combustíveis derivados de petróleo iniciada a partir da década de setenta levou as empresas brasileiras a avaliar a viabilidade econômica de aproveitamento eficiente de resíduos industriais como insumos energéticos, até então descartados em seus processos de fabricação (SANTIAGO e ULBANERE, 2002).

A redução das fontes de energia mais acessíveis, devida à escassez dos recursos disponíveis e aliada a um alto consumo energético favorece a estratégia de reciclagem dos materiais e seu aproveitamento térmico, o que acaba por tornar viável a utilização racional de inúmeros outros combustíveis, até então considerados impraticáveis, sob o ponto de vista econômico e ecológico.

Neste aspecto, as indústrias veem pesquisando alternativas econômicas de utilização das fontes energéticas disponíveis em seus processos produtivos, impulsionadas pelo crescente custo dos insumos energéticos.

Segundo Ferrari (2002), resíduos que apresentam poder calorífico (borras oleosas, borras de tinta, lodos de estações de tratamento de esgotos, plásticos e papéis contaminados, etc) podem ser utilizados como alternativa energética para o processo, sendo que a recuperação energética a partir de resíduos sólidos pode ser obtida principalmente através de incineração.

A recuperação energética é um método de tratamento de resíduos que consiste na sua combustão, sendo que os gases quentes resultantes da combustão

passam por uma caldeira onde o seu calor é aproveitado para produzir vapor, o qual pode ser usado para acionar turbinas de geração da energia elétrica (AFCAL, 2005).

As principais vantagens da recuperação energética são o aproveitamento da energia resultante da queima e a redução do peso e do volume dos resíduos a serem enviados para seu destino final.

Existem resíduos que não possuem um método bem definido e viável de descarte, tratamento e disposição e ainda causam discussões tanto entre cientistas como ambientalistas. Dentre estes, figura o resíduo da fabricação de macarrão instantâneo, que por ultrapassarem o prazo de validade, a quebra e o espalhamento constitui-se em perdas (MORETTO e FETT, 1999).

O macarrão instantâneo por ser um produto frito, contém alto grau de óleo residual e compostos de derivados de óleos. Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (NEPA, 2006), os níveis são de aproximadamente 17% ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$).

Na fritura por imersão o óleo serve como um meio de transferência de calor mais eficiente que o forneamento e o cozimento a vapor (JORGE, 1996), preparando os alimentos mais rapidamente e com menor emprego de energia.

Quando fritos por esse processo os alimentos adquirem cor, sabor, consistência e odor que os deixam mais atraentes para o consumo humano (O'DONNELL, 1995). Parte da água do alimento vai para o óleo e parte deste se adere ao alimento, aumentando assim seu valor nutricional e energético (BERGER, 1984).

O óleo vegetal usado em frituras pode ser classificado como um poluente de origem difusa, segundo Nogueira e Beber (2009), já que não apresenta pontos estáticos de lançamento, tampouco vazões e concentrações conhecidas de emissão.

A qualidade do óleo descartado também varia, mesmo para quantidades iguais de um mesmo gerador. Como não há padrão para o tempo de descarte, a definição deste depende dos critérios adotados por seus usuários, na maioria das vezes apoiados no censo comum e nas propriedades paliativas que apresenta.

Segundo Nogueira e Beber (2009), todas as formas de descarte usuais, até mesmo a forma mais controlada que é o aterro sanitário, são indevidas em graus e fatores diferentes, trazendo prejuízos para os assentamentos humanos, os cidadãos

que neles vivem, as formas de governo que os controlam e o meio ambiente que os suporta.

Diante do exposto, é correto afirmar que novos processos que visem a eliminação de resíduos de origem orgânica, com potencial poluidor, devem ser elaborados, afim de reduzir, dar correto destino e gerar energia a partir do que não têm mais utilidade para a indústria.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MACARRÃO INSTANTÂNEO

Segundo a RDC Nº 014/2000 (ANVISA, 2000), o macarrão instantâneo pode ser compreendido como o produto não fermentado, obtido pelo empasto, amassamento mecânico, cozimento e desidratação ou não da mistura de farinha de trigo e ou farinha de outros vegetais, adicionado ou não de outros ingredientes, acompanhado ou não de temperos isoladamente ou adicionados diretamente à massa, sendo que o macarrão desidratado por fritura é considerado como o produto submetido ao processo de cozimento e de secagem por fritura.

De uma forma mais simplificada, a ABIMA – Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias (2011) designa o macarrão instantâneo, como sendo um tipo de macarrão pré-cozido, que possui óleo, a ser preparado apenas com a adição de água fervente, durante alguns minutos e um pacote de tempero pronto. Ele cozinha rapidamente pelo fato de ser pré-cozido, pois no seu processo de fabricação, ele é cozido e, em seguida, perde a água em um processo de fritura. Por este motivo, ele se torna um produto semi-pronto e só precisa de três minutos para poder ser consumido. Por ser um alimento fácil de preparar, que aceita muitas variações e que agrada à maioria dos paladares, seu consumo cresce a cada dia.

Segundo a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (NEPA, 2006), o macarrão instantâneo possui em média, a cada porção de 0,100 Kg, 6% de umidade; 432 Kcal; 9 g de proteína; 17 g de lipídeos; 62 mg de colesterol; 5,6 g de carboidratos e 5,6 g de fibra alimentar .

2.1.1 Histórico

O primeiro macarrão instantâneo foi o E-fu, na China, do século XVI (ABIMA, 2011). Contudo, o inventor do macarrão instantâneo como conhecido atualmente foi Momofuku Ando, nascido em Taiwan em 1910, que movido pelo anseio de produzir um alimento de qualidade, com baixo custo e fácil de preparar, realizou várias pesquisas com a finalidade de eliminar totalmente a água do macarrão já cozido, acondicioná-lo em porções individuais, reidratá-lo, torná-lo adequado ao consumo e mudar o sabor.

Cerca de dez anos depois ele desenvolveu o Chicken Ramen, considerado o primeiro macarrão instantâneo do mundo. Este produto teve uma ótima aceitação do público e em menos de um ano, a produção diária cresceu de 300 para 6 mil porções (OTSUKA, 2007). Mas a novidade só chegou ao Brasil em 1965, quando foram lançados os sabores galinha e carne, os mais populares até hoje.

2.1.2 Mercado

De acordo com a Revista Mercado, Empresas & Cia (2009), o Brasil é o terceiro consumidor mundial de macarrão com 6,4 kg/hab/ano, sendo a metade do consumo da Venezuela e com grande diferença do consumo dos italianos que lideram o ranking com 28 kg por habitante.

O mercado de massas brasileiro é representado por três categorias incluindo as massas secas, representam 87% do consumo e o restante do setor é representado por 10% de massas instantâneas e 3% de massas frescas.

O mercado mundial de macarrão instantâneo vem crescendo a taxas relativamente altas, maior do que o índice apresentado por sua própria categoria (massas alimentícias). Esta tendência também é observada no Brasil, pois entre 2002 e 2006, segundo a ABIMA (2011), o consumo de massas instantâneas cresceu 33% em volume, contra 14% da venda de massas como um todo.

O país que mais consome macarrão instantâneo é a China, com o consumo de 44,2 bilhões de porções por ano, segundo dados apresentados pela Revista Gôndola (2009). Depois da China, os principais países consumidores deste tipo de massa, em bilhões de porções são: Indonésia (12,4); Japão (5,4); Estados Unidos (3,9); Coréia do Sul (3,4); Vietnã (2,6); Filipinas (2,5); Tailândia (1,9); Rússia (1,6) e Brasil (1,3).

As massas instantâneas estão presentes em 90% dos lares brasileiros, o que significa que ainda há espaço para crescer. Mesmo assim, considerando o período entre 2006 e 2010, houve um aumento nas vendas de 152 mil para 181 mil toneladas, caracterizando uma elevação de aproximadamente 19%. Para o faturamento foi observado um incremento de 31% neste período, graças ao aumento de R\$ 1,345 para R\$ 1,766 milhões de reais. Já o consumo per capita apresentou um aumento de 12,5% neste período (ABIMA, 2011).

2.1.3 Processo de fabricação

O processo de fabricação do macarrão instantâneo segue o modelo italiano de fabricação contínua de massa instantânea. Neste modelo a matéria-prima fica acondicionada em depósitos e vai sendo adicionada ao processo de fabricação conforme a sua necessidade.

Na etapa inicial, corantes e temperos são adicionados à água e misturados nos tanques de sais, um dosador é responsável pela adição de água na masseira onde junto com a farinha é processada a massa. A massa elaborada pela masseira é transformada em mantas na esfoliatriz que também conduz a massa até os cilindros laminadores. Nos cilindros laminadores a manta de massa passa através de sete pares de rolos que gradativamente comprimem a massa até a espessura necessária para que o rolo cortador corte a massa em fios. Após ser cortado o macarrão é cozido no cozedor através da injeção direta de vapor.

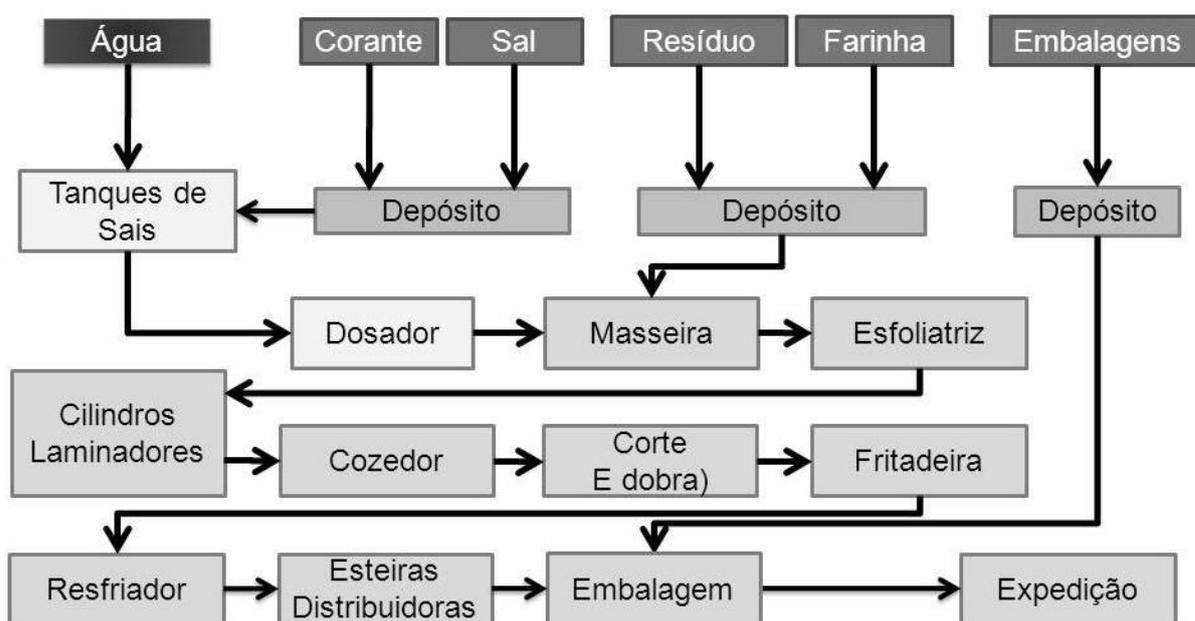


Figura 1. Fluxograma da produção de macarrão instantâneo
 Fonte: Adaptado de ABIMA (2011).

Posteriormente o macarrão é conduzido para o secador onde a umidade da massa é retirada. Em seguida o macarrão é cortado e dobrado no formato de

tablete, que é conduzido para a fritadeira onde, por imersão em óleo quente, ocorre a fritura.

Após ser frito o macarrão passa pelo resfriador onde a circulação forçada de ar baixa sua temperatura até o ponto que o permita ser embalado. O macarrão é conduzido por esteiras distribuidoras até o setor de embalagem, onde o mesmo é embalado juntamente com o sachê de tempero.

2.2 ÓLEO DE FRITURA

Conforme Reis et al. (2007), os óleos vegetais são largamente e universalmente consumidos para a preparação de alimentos nos domicílios, estabelecimentos industriais e comerciais de produção de alimentos. A fritura é uma operação de preparação rápida, conferindo aos alimentos fritos, características únicas de saciedade, aroma, sabor e palatabilidade. Porém, o óleo é um dos componentes mais críticos em um sistema de fritura. A sua degradação depende da maior ou menor presença de ácidos graxos insaturados em sua composição.

Os vegetais constituem a principal fonte de óleos utilizados na indústria alimentícia. Entre os mais utilizados, além do óleo de soja, está o óleo de algodão, que é extraído da semente. Ele contém uma mistura de ácidos graxos saturados e insaturados, sendo seu principal componente o ácido linoleico (Tabela 1).

Tabela 1. Composição de ácidos graxos do óleo de algodão

Ácidos graxos	Estrutura	Valores de referência (%)
-	C<14	< 0,1
Ácido Mirístico	C14:0	0,4 - 2,0
Ácido Palmítico	C16:0	17,0 - 31,0
Ácido Palmitoleico	C16:1	0,5 - 2,0
Ácido Esteárico	C18:0	1,0 - 4,0
Ácido Oleico (Ômega 9)	C18:1	13,0 - 44,0
Ácido Linoleico (Ômega 6)	C18:2	33,0 - 59,0
Ácido Linolênico (Ômega 3)	C18:3	0,1 - 2,1
Ácido Araquídico	C20:0	< 0,7
Ácido Eicosenoico	C20:1	< 0,5
Ácido Behênico	C22:0	< 0,5
Ácido Erúcico	C22:1	< 0,5
Ácido Lignocérico	C24:0	< 0,5

Fonte: RDC 482/1999, da Agência Nacional da Vigilância Sanitária - ANVISA.

Óleos vegetais que possuem uma grande quantidade de ácidos graxos poli-insaturados estão mais sujeitos à oxidação do que óleos que possuem maior quantidade de ácidos graxos saturados (LOLOS et al., 1999).

A semente de algodão contém de 14 a 25% em média de óleo, o qual 1-2% é de ácido graxo mirístico, 18-25% de palmítico, 1-25% de esteárico, 1-2% de palmitoleico, 17-38% de oleico e 45-55% de linoleico (SOLOMONS, 2002).

2.2.1 Destinação e impactos ambientais

Embora muitos desconheçam, os óleos vegetais são grandes causadores de danos ao meio ambiente quando descartados de maneira incorreta, tanto livremente, quanto agregada a alimentos preparados. Em relação à destinação do óleo exaurido, são quatro as alternativas mais usuais: esgotos, solo, corpos hídricos e aterros.

Entre as consequências do descarte incorreto destes resíduos, pode-se citar a decomposição do óleo, que emite metano na atmosfera. O metano é um dos principais gases que causam o efeito estufa, contribuindo para o aquecimento da terra, pois o óleo em contato com a água do mar passa por reações químicas que resultam em emissão de metano, através de uma ação anaeróbica de bactérias (LÔBO, 2008).

Cada litro de óleo despejado no esgoto tem capacidade para poluir cerca de um milhão de litros de água. Essa quantidade corresponde ao consumo de uma pessoa durante 14 anos. (SABESP, 2008). O óleo também interfere na passagem de luz na água, retarda o crescimento vegetal e interfere no fluxo, além de impedir a transferência do oxigênio para a água o que impede a vida nestes sistemas. Além disso, pode haver a formação de uma camada de óleo sobre a água, facilitando a aglomeração de entulhos e lixo (PEREIRA, 2007).

Se não causar entupimento das tubulações por onde passa, atingindo as galerias de coleta de esgoto e águas pluviais, o óleo pode servir de alimento para qualquer ser vivo que possa digeri-lo e dele obter energia, incluindo-se aí as pragas urbanas como insetos e roedores. Com o aumento da disponibilidade de alimento, aumentam-se também as condições favoráveis para a reprodução e a manutenção

de um maior número de indivíduos, aumentando assim sua população (NOGUEIRA e BEBER, 2009).

Segundo Pereira (2007), quando lançado no solo, o óleo toma o espaço da água e do ar no mesmo, ocupando seus poros. Essa impermeabilização impede que a fauna e flora do solo (macro e micro) absorvam nutrientes, água e oxigênio e acabem por morrer. Solos impermeabilizados também não favorecem a germinação de sementes, tornando-se, portanto, inviáveis para cultivos e piorando o problema das enchentes.

2.2.2 Tecnologias de reciclagem

No Brasil, os procedimentos mais empregados para reciclagem de óleo vegetal usado em frituras são: a saponificação, a produção de biodiesel e a mistura à ração animal.

A saponificação é a técnica química pela qual os ésteres de ácidos graxos presentes nos óleos e gorduras reagem com uma base forte para formarem sais de éster de ácidos graxos. Basicamente é a mistura de óleo com base para a formação de sabão.

Já o biodiesel é obtido por distintos processos, como craqueamento, esterificação ou transesterificação. Pode ser utilizado puro ou em misturas com óleo diesel derivado do petróleo, em diferentes proporções (SILVA e FREITAS, 2008).

Porém, a fabricação de biodiesel a partir de óleo de fritura residual demanda de quantidade e frequência amplas dessa matéria-prima, diante do seu maior custo de produção comparado ao diesel convencional (ZHANG et al., 2003). Como a produção desse resíduo não é precisa e nem corresponde a uma frequência de emissão, a operação de pequenas unidades torna-se economicamente inviável.

O óleo residual de frituras também pode ser incorporado a mistura de rações, tanto na indústria como nas propriedades rurais. A utilização do óleo para esse fim, entretanto, não deve ser usada para animais que futuramente irão servir de alimento ao homem, já que os compostos polares presentes no óleo são possivelmente carcinogênicos e podem afetar a saúde humana (NOGUEIRA e BEBER, 2009).

Reis et al. (2007), também cita como aproveitamentos a produção de glicerina, padronização para a composição de tintas, produção de massa de vidraceiro e geração de energia elétrica através de queima em caldeira.

2.3 QUEIMA DE RESÍDUOS EM CALDEIRAS

O impacto ambiental causado pelas emissões de poluentes através dos gases gerados pela queima de resíduos sólidos em caldeiras precisa ser conhecido, para isso é necessário o controle dos resíduos que são queimados em caldeiras, bem como das condições de instalações destas e da emissão de gases.

A RDC Nº 042/2008 (SEMA, 2008) regulamenta todo este processo. Segundo esta resolução, a queima de resíduos em caldeiras somente poderá ser autorizada para equipamentos que comprovem o pleno atendimento aos padrões de emissão estabelecidos para o seu combustível principal e que este não seja descaracterizado pelos resíduos; que as caldeiras que sejam utilizadas para a queima de resíduos, deverão contar com equipamentos que reduzam a emissão de poluentes, de modo a garantir o atendimento aos padrões de emissão estabelecidos e possuir sistema de monitoramento contínuo de oxigênio, de monóxido de carbono e temperatura na câmara de combustão, além de outros parâmetros.

As emissões atmosféricas como consequência dos processos produtivos industriais são, em geral, altamente poluentes, mantendo sob constante risco a população.

O problema da poluição do ar está relacionado intimamente com as propriedades do combustível (umidade, cinzas, etc.), com as características e tipo de caldeira, assim como com a operação destes equipamentos.

A fração de cinzas arrastada com os gases depende fundamentalmente do tipo de sistema de combustão e os resultados são afetados por questões operacionais como a distribuição do ar pela grelha, distribuidores e conjunto de jatos, além do nível de vácuo na fornalha (LORA, 2000).

2.3.1 Caldeiras

De acordo com Bizzo (2003), o vapor de água é usado como meio de geração, transporte e utilização de energia desde os primórdios do desenvolvimento industrial. As primeiras aplicações práticas ou de caráter industrial de vapor surgiram por volta do século XVII, com a invenção da caldeira.

Segundo este mesmo autor, as caldeiras podem ser classificadas em dois tipos básicos:

- Flamotubulares, onde os gases de combustão circulam por dentro de tubos, vaporizando a água que fica por fora dos mesmos. Constituem-se da grande maioria das caldeiras, utilizada para pequenas capacidades de produção de vapor (da ordem de até 10 ton/h) e baixas pressões (até 10 bar), chegando algumas vezes a 15 ou 20 bar.
- Aquatubulares, onde os gases circulam por fora dos tubos, e a vaporização da água se dá dentro dos mesmos, que interligam dois ou mais reservatórios cilíndricos horizontais e proporcionam arranjo e projeto de câmaras de combustão completamente fechada por paredes de água, com capacidades praticamente ilimitadas.

Porém, a necessidade de utilização de combustíveis sólidos para caldeiras de pequena capacidade fez surgir uma solução híbrida que são as caldeiras mistas. Basicamente são caldeiras flamotubulares com uma antecâmara de combustão com paredes revestidas de tubos de água. Na antecâmara se dá a combustão de sólidos através de grelhas de diversos tipos possibilitando assim o espaço necessário para os maiores volumes da câmara de combustão necessários a combustão de sólidos, principalmente em grandes tamanhos, tais como lenha em toras, cavacos, etc.

2.3.2 Condicionantes para uma caldeira receber resíduos

Segundo o disposto na RDC Nº 042/2008 (SEMA, 2008), as caldeiras que sejam utilizadas para a queima de resíduos, deverão, obrigatoriamente:

1. Contar com equipamentos que reduzam a emissão de poluentes, de modo a garantir o atendimento aos padrões de emissão estabelecidos;

2. Ter disponibilidade de acesso ao ponto de descarga, que permita a verificação periódica dos padrões de emissão;
3. Dispor de sistema de alimentação contínua;
4. Possuir sistema de monitoramento contínuo de oxigênio (O_2), de monóxido de carbono (CO) e temperatura na câmara de combustão, além de outros parâmetros definidos pelo IAP, instalados e em pleno funcionamento, sendo os valores medidos registrados e armazenados por um computador, o qual deverá calcular médias horárias dos valores registrados. Os dados obtidos deverão ser armazenados por um período mínimo de três anos;
5. Dispor de sistema de travamento automático da alimentação de resíduo, em caso de:
 - a. Queda de O_2 conforme definido na avaliação de desempenho;
 - b. Aumento de CO conforme definido na avaliação de desempenho;
 - c. Mau funcionamento dos registros de CO e O_2 ; ou
 - d. Interrupção do funcionamento do sistema de controle de poluição atmosférica;
6. Ser submetida ao auto-monitoramento, na forma estabelecida pela RDC nº 054/2006 (SEMA, 2006), considerando a situação mais conservadora entre os processos de geração de calor ou energia e incineração;
7. Registrar qualquer situação de travamento do sistema de alimentação de resíduo, pelo sistema de monitoramento contínuo computadorizado;
8. Dispor de relatórios diários de queima, conforme modelo em anexo C, que deverão ser armazenados no empreendimento por três anos, ficando à disposição do IAP para consulta a qualquer momento. Esses devem ser devidamente interpretados e consolidados, de modo a compor o relatório de automonitoramento do empreendimento;
9. Atender aos critérios de altura da chaminé estabelecidos pelo artigo 8º da RDC nº 054/2006 (SEMA, 2006);
10. Atender aos padrões de emissão, estabelecidos como média ponderada entre os padrões de geração de energia e os padrões de incineração, considerando as respectivas energias ou massas fornecidas, ou, quando o poluente não é mencionado para a geração de energia, ao padrão da incineração, quando aplicável.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver um método de aproveitamento de resíduos de macarrão, através da queima na caldeira, de maneira rentável e enquadrada à realidade financeira da empresa.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificação da legislação referente à queima de combustíveis em caldeiras;
- Levantamento dos componentes e materiais utilizados;
- Criação de um fluxograma do processo de fabricação;
- Teste do método de queima selecionado;
- Planejar, desenvolver e implantar um método de disposição que provoque o mínimo de danos ambientais;
- Verificar a viabilidade do uso dos resíduos de macarrão no auxílio a queima de cavaco de lenha na caldeira da empresa;
- Desenvolver a utilização dos resíduos de macarrão de forma que tragam retorno financeiro para a empresa;
- Levantamento da economia gerada pelo método.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma indústria de macarrão instantâneo localizada na região oeste do Paraná, que conta com aproximadamente 3.750,00 m² de área construída, sendo a área total de 42.000 m², gerando aproximadamente 80 empregos diretos. Esta unidade iniciou suas atividades em agosto de 2006 e produz atualmente 20000 Kg de macarrão instantâneo por dia, além de outros produtos, como o tempero para o macarrão e sopão. O fluxograma de funcionamento da empresa está descrito na Figura 2. Pode-se verificar que durante o processo existem vários pontos de perda de produto, principalmente na fritura, no resfriamento e na embalagem, o que gera em torno de 700 Kg de resíduo diariamente.

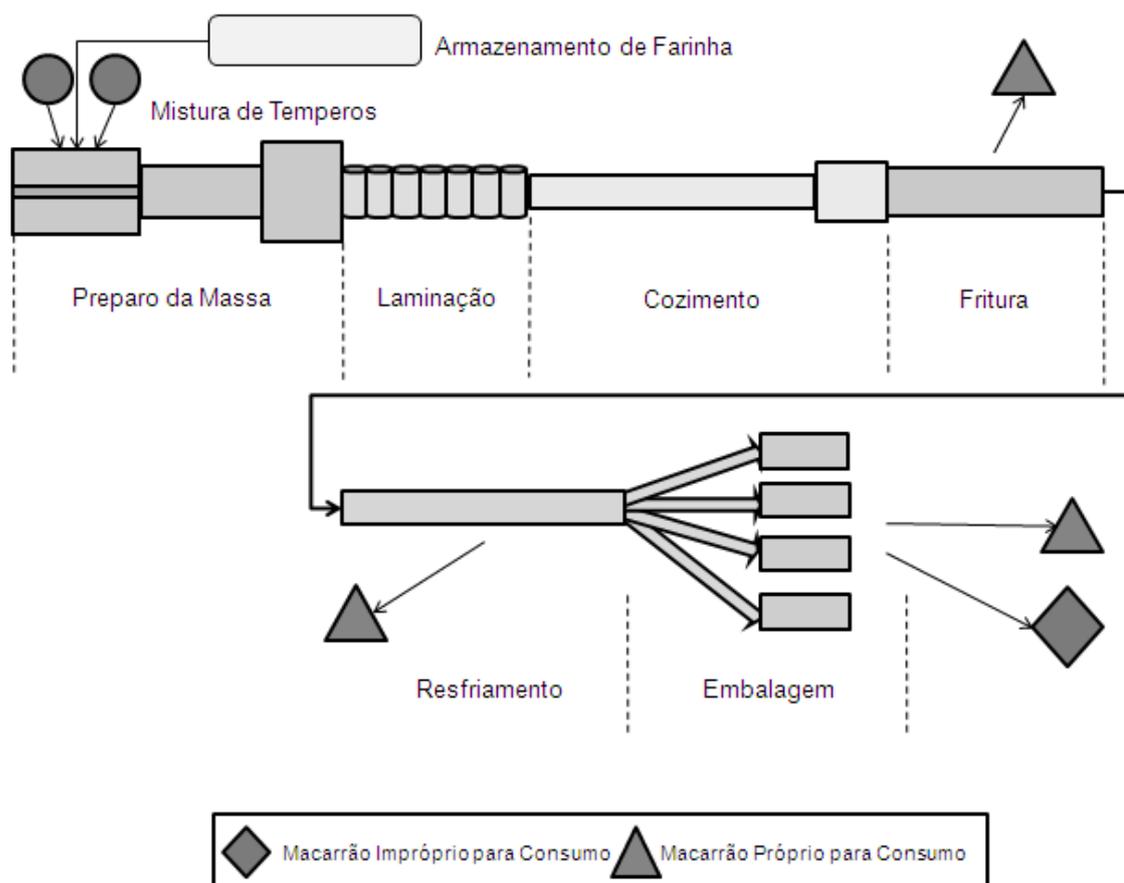


Figura 2. Fluxograma de geração de resíduo durante a produção de macarrão instantâneo
Fonte: O Autor.

4.2 ORIGEM DO RESÍDUO DE MACARRÃO INSTANTÂNEO

O resíduo de macarrão instantâneo utilizado neste estudo constitui-se unicamente de restos de macarrão instantâneo que já passou pelo processo de fritura e encontra-se sob a forma de tabletes ou partes quebradas do tablete.

Este produto é proveniente de sobras ou erros nas etapas do processo de fabricação, que tornam o macarrão impróprio para comercialização, porém, suas propriedades são mantidas, continuando próprios para o consumo. Para o desenvolvimento do método também foram utilizados resíduos provenientes da limpeza dos equipamentos e que possam estar contaminados com sujidades.

Outra fonte constante de resíduos é o macarrão que retorna dos pontos de venda com o prazo de validade excedido, para o qual, a empresa compromete-se a dar uma destinação final.

4.2.1 Armazenamento do resíduo

O resíduo de macarrão próprio para o consumo é armazenado em uma área dentro do depósito de matéria-prima (Fotografia 1), pois a empresa não dispõe de um local específico para o armazenamento do resíduo de macarrão impróprio para comercialização. O armazenamento é feito em bolsas de farinha reutilizadas – que possuem capacidade para cerca de 10 Kg de resíduo em tablete ou tabletes quebrados – e/ou também é moído e armazenado em bolsas, economizando espaço na estocagem, desta maneira cada saco armazena cerca de 30 Kg de resíduo.

Este armazenamento inapropriado carrega consigo uma série de problemas para o setor, como a diminuição na circulação de ar, ocupação de espaço que deveria ser destinado à matéria-prima, geração de um ambiente propício ao desenvolvimento de pragas e risco de incêndio, uma vez que as bolsas localizadas mais internamente dentro da pilha formada por um longo período de tempo tendem a fermentar, causando a elevação da temperatura até o ponto de combustão do resíduo.

Já os resíduos provenientes da limpeza dos equipamentos, que são impróprios para consumo, são armazenados em um local específico, que é isolado dos outros setores da indústria, por meio de grades de proteção e de forma que as

pragas não encontrem um ambiente propício para o seu desenvolvimento. Neste caso, a armazenagem é feita em sacos de farinha reutilizados, com aproximadamente 10 Kg de resíduos cada.



Fotografia 1. Local de armazenamento do resíduo de macarrão instantâneo próprio para consumo
Fonte: Arquivo Pessoal

4.2.2 Disponibilidade de resíduo

No início do estudo a empresa contava com aproximadamente 100 toneladas de resíduo de macarrão instantâneo disponíveis para realização dos testes na caldeira. À quantidade de resíduo armazenado anteriormente soma-se ainda a produção média de 700 Kg de resíduo por dia.

4.2.3 Reincorporação no Processo

Como citado no item 4.2.1, no decorrer do processo de fabricação do macarrão instantâneo (na fritura, no resfriamento e na embalagem) podem ocorrer problemas em determinadas etapas da linha de fabricação, que tornam o produto impróprio para comercialização, porém, continua sendo próprio para o consumo. Este resíduo que pode ser consumido é pesado, registrado e moído em um moinho de martelos.

O resíduo moído é incorporado novamente à massa do macarrão através da mistura do mesmo com a farinha. A adição do resíduo é realizada pelo funcionário responsável de abastecer com farinha o silo de armazenamento.

A proporção de mistura é de 1% de resíduo na farinha utilizada e a homogeneização é feita automaticamente pelo sistema de movimentação de farinha (sistema pneumático).

4.3 QUEIMA DOS RESÍDUOS DE MACARRÃO INSTANTÂNEO EM CALDEIRA

O método de queima foi escolhido devido às características de funcionamento da caldeira e às características inerentes ao resíduo de macarrão disponível na indústria.

Este método consiste basicamente no transporte dos resíduos do local de armazenamento para a caldeira, onde é misturado com o cavaco de pinus e queimado.

4.3.1 Transporte do resíduo

O resíduo de macarrão foi transportado até a caldeira por um carrinho de transporte manual. O serviço de carga e descarga do resíduo foi realizado pelo operador da caldeira com o auxílio do setor de carregamento.

Como critério para ordem de utilização do resíduo, optou-se por queimar os lotes mais antigos precedendo os mais recentes.

4.3.2 Proporção de mistura e homogeneização

A mistura do resíduo com o cavaco de pinus foi realizada na moega de abastecimento obedecendo à proporção de 10 Kg de resíduo de macarrão a cada metro cúbico de cavaco. Esta proporção foi utilizada pois cada bolsa que armazenava o resíduo de macarrão continha cerca de 30 Kg do resíduo a ser despejado na moega de abastecimento que possuía a capacidade de 3 m³. Este método foi adotado por sua facilidade de utilização pelos operadores e por não necessitar nenhum outro instrumento de medição.

O abastecimento de cavaco e resíduo desta moega é feito de forma manual pelo operador da caldeira. A homogeneização da mistura ocorre na rosca que eleva o cavado até a moega de abastecimento da caldeira e é resultante da movimentação do cavaco na rosca.

4.3.3 Queima

A mistura de cavaco e resíduo de macarrão fica armazenada na moega de abastecimento da caldeira (Fotografia 2) até que, de forma automática, a caldeira inicie a alimentação da fornalha com a mistura. Dentro da fornalha o resíduo de macarrão entra em combustão muito rapidamente liberando uma grande quantidade de energia térmica e além de aquecer a água, auxilia na combustão do cavaco.



Fotografia 2. Moega de abastecimento da caldeira
Fonte: Arquivo Pessoal

4.4 CALDEIRA

O método de queima do resíduo de macarrão instantâneo foi desenvolvido em uma caldeira tipo mista (flamotubular/aquatubular) fabricada pela empresa EIT Caldeiraria no ano de 2006 (Fotografia 3).

A caldeira possui uma capacidade de geração de 3000 Kg de vapor por hora e usa como combustível cavaco de pinus e esporadicamente lenha fina. A alimentação de água da caldeira é feita com água proveniente de um poço artesiano

situado na área da indústria, e antes de ser utilizada passa por um tratamento específico para água de caldeira.

O combustível alimenta a caldeira de forma automática por um sistema constituído por uma moega, um silo, duas roscas e um ventilador. Neste sistema, a moega é alimentada manualmente com cavaco que é conduzido por uma rosca até o silo que possui outra rosca responsável por alimentar a fornalha da caldeira com o cavaco e o ventilador insufla ar para dentro da fornalha.



Fotografia 3. Caldeira para geração de vapor
Fonte: Arquivo Pessoal

O sistema de exaustão de gases e remoção de materiais particulados é constituído por um exaustor e por dois ciclones paralelos (Fotografia 4).



Fotografia 4. Sistema de exaustão de gases

Fonte: Arquivo Pessoal

O exaustor força a passagem dos gases provenientes da combustão na caldeira através dos ciclones, que retiram o material particulado dos gases que será conduzido ao depósito de cinzas. Depois que os gases passam pelo sistema de exaustão são liberados na atmosfera.

4.5 RESÍDUOS GASOSOS

A medição e o acompanhamento dos resíduos gasosos eram efetuados por uma empresa terceirizada que segue a sua própria metodologia de coleta e análise dos dados. Esta empresa emite um relatório da análise após cada medição e o encaminha para apreciação na indústria.

4.6 RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos são caracterizados pelas cinzas resultantes da combustão do cavaco e do resíduo de macarrão.

A cinza é coletada semanalmente pelos operadores dentro da fornalha e nos depósitos dos ciclones de gases e são armazenadas em tambores metálicos, que posteriormente são retirados da indústria por agricultores que as utilizam como fertilizante.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resíduo de macarrão pode ser classificado em resíduo próprio ao consumo e resíduo impróprio ao consumo. O resíduo próprio ao consumo pode ter quatro destinos, sendo eles: venda para fábricas de ração animal, reincorporação à massa do macarrão, componente da fabricação do sopão e queima na caldeira.

Já o resíduo impróprio ao consumo não pode ser utilizado como matéria-prima para fabricação de qualquer produto alimentício e também não é aceito como componente de ração animal, logo, somente pode ser utilizado com combustível na caldeira.

Usualmente utiliza-se o cavaco de pinus como combustível na caldeira da indústria. Segundo o site da Aalborg Industries SA, o cavaco possui um poder calorífico de 2500 Kcal.Kg⁻¹. Por sua vez, o resíduo de macarrão possui um poder calorífico de 4320 Kcal.Kg⁻¹ (NEPA, 2006). A substancial diferença entre o poder calorífico do cavaco e do resíduo de macarrão é compensada pelo valor do Kg de cada produto, que é de R\$ 0,12 por Kg de cavaco e R\$ 0,25 por Kg de macarrão.

Através da comparação do custo do Kcal de cada um, é possível identificar a viabilidade de cada tipo de combustível. Pode-se observar que uma tonelada de resíduo de macarrão fornece 4320000 Kcal a um custo de R\$ 250,00 (preço de venda para as fábricas de ração); ao passo que uma tonelada de cavaco de pinus fornece 2500000 Kcal a um custo de R\$ 120,00. Para efeito de comparação, serão necessários 1,728 toneladas de cavaco de pinus para fornecer a mesma quantidade de Kcal fornecida por uma tonelada de resíduo de macarrão, sendo que o custo de 1,728 toneladas de cavaco é de R\$ 207,36; logo, a queima de cavaco ainda apresenta-se como a forma financeiramente mais viável, desde que o valor da caloria do resíduo for menor do que o valor da caloria do cavaco.

Como demonstrado no cálculo, a queima de resíduo próprio ao consumo é economicamente inviável, pois o valor pago pelas fábricas de ração não justifica a utilização deste resíduo como combustível. No entanto, o interesse das fábricas em adquirir o resíduo é dependente do custo de outros ingredientes a serem adicionados na ração, uma vez que o resíduo de macarrão é utilizado como ingrediente alternativo e nem sempre a utilização do mesmo é economicamente viável para as fábricas.

As utilizações do resíduo próprio para o consumo como ingrediente para o sopão e a incorporação do resíduo na massa do macarrão, utilizam uma pequena porcentagem da produção diária resultante; assim, nos períodos onde não há demanda pelo resíduo próprio para o consumo, o mesmo se acumula na indústria, juntamente com o resíduo impróprio para o consumo.

Por não possuir aplicação e não haver demanda para o resíduo de macarrão impróprio para o consumo, a utilização do mesmo como combustível na caldeira torna-se a alternativa menos impactante ao meio ambiente, pois a geração de resíduos sólidos e gasosos é menos prejudicial que a sua simples disposição na natureza, uma vez que este possui uma quantidade considerável de óleo vegetal na sua composição (17%), o que representa um grande potencial de poluição.

O acompanhamento das possíveis fontes de poluição é realizado periodicamente, conforme estabelecido no Manual de Boas Práticas de Fabricação da empresa. No entanto, durante a condução deste experimento, observaram-se os possíveis efeitos da queima de resíduo de macarrão nos resíduos gasosos e sólidos.

O gerenciamento dos resíduos gasosos é feito por uma empresa terceirizada, que é responsável pela emissão de relatórios periódicos com dados dos gases emitidos. Os parâmetros emitidos foram analisados pela indústria e todos se enquadram na legislação vigente. Por meio da análise destes dados pode-se verificar que não houve mudanças significativas nos parâmetros dos gases.

O principal representante dos resíduos sólidos são as cinzas retiradas da caldeira – provenientes da queima de combustíveis. Com relação a estes, pode-se perceber através de um acompanhamento diário no volume gerado após a queima do resíduo, que este não sofreu variação nos períodos de queima do resíduo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se neste trabalho que a queima do resíduo de macarrão instantâneo em caldeira, apesar de ser uma alternativa que reduz a contaminação ambiental, não é economicamente viável, pois o valor que a empresa recebe pela venda deste, supera o valor economizado na compra de cavaco quando mistura-se o resíduo de macarrão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AALBORG INDUSTRIES SA. Downloads de Tabelas Técnicas. Disponível em: <<http://www.aalborg-industries.com.br/general.php?ix=131>>. Acesso em: 30 de Maio de 2011.

ABIMA – Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias. 2011. Disponível em: <<http://www.abima.com.br/>> . Acesso em: 23 de Maio de 2011.

AFCAL – Associação dos Fabricantes de Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos. **Destino final: Valorização Energética**. 2005. Disponível em: <http://www.afcal.pt/destinoFinal_valorizacao.php>. Acesso em: 12 de Novembro de 2010.

ANVISA - Agência Nacional da Vigilância Sanitária. Resolução - RDC nº 14, de 21 de fevereiro de 2000. Dispõe sobre o regulamento técnico para fixação de identidade e Qualidade de massa alimentícia ou macarrão. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 25 de Fevereiro de 2000.

BERGER, K.G. **The practice of frying**. Porim Technology, [S.l.], 1984

BIZZO, W.A. **Geração, Distribuição e Utilização de Vapor**. 2003. Apostila do curso de Engenharia Mecânica da UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003. 140 p.

FERRARI, R. **Co-processamento de resíduos industriais em fornos de clínquer**. 2002. Disponível em: <www.ebah.com.br/co-incineracao-de-residuos-industriais-em-fornos-de-cimento-pdf-a51289.html>. Acesso em: 15 de Novembro de 2010.

GÔNDOLA. **Em sintonia com o mercado: Macarrão Instantâneo – Prático para fazer, vender e lucrar**. 2009. Disponível em: <www.portal.amis.org.br/site/revista/download.aspx?arquivo=526> . Acesso em: 22 de Maio de 2011.

JORGE, N. **Estudos do comportamento do óleo de girassol e do efeito do dimetilpolisiloxano em frituras**. 233p. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 1996.

LÔBO, I. **Óleo de cozinha e a natureza**. 2008. Disponível em: <http://itajubacomunitaria.org/index.php?option=com_content&view=article&id=48:ol>

eo-de-cozinha-e-a-natureza&catid=35:noticias-da-omunidade&Itemid=58>. Acesso em: 11 de Novembro de 2010.

LOLOS, M.; OREOPOULOU, V.; TZIA, C. Oxidative stability of potato chips: effect of frying oil type, temperature and oxidants. **Journal of Science of Food and Agriculture**, [S.l.], v. 79, p. 1.524-1.528, 1999.

LORA, E.S. **Controle da Poluição do Ar na Indústria Açucareira**. 2000. Disponível em: <<http://www.nest.unifei.edu.br/portugues/pags/downloads/files/STAB-1.pdf>>. Acesso em: 23 de Maio de 2011.

MERCADO, EMPRESAS & CIA. **Mercado de massas alimentícias está otimista**. 2009. Disponível em: <http://www.insumos.com.br/funcionais_e_nutraceuticos/materias/103.pdf> . Acesso em: 22 de Maio de 2011.

MORETTO, E. e FETT, R. **Processamento e análise de biscoito**. São Paulo: Varela, 97p. 1999.

NEPA – Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 2. ed. Campinas, SP: NEPA-UNICAMP, 2006. 113p.

NOGUEIRA, G.R. e BEBER, J. **Proposta de metodologia para o gerenciamento de óleo vegetal residual oriundo de frituras**. 2009. Disponível em: <www.unicentro.br/graduacao/.../semana_09.htm>. Acesso em: 10 de Novembro de 2010.

O'DONNELL C.D. **Fats and Oil: forces in fried food quality**. Prepared Foods, 1995.

OTSUKA, K. **Macarrão instantâneo: rápido e fácil**. Às vésperas de completar 50 anos, o macarrão instantâneo é cada vez mais consumido no mundo inteiro. 2007. Disponível em: <<http://www.ipcdigital.com/br/Noticias/Especiais/Macarrao-instantaneo-rapido-e-facil>>. Acesso em: 23 de Maio de 2011.

PEREIRA, D. **Óleo de fritura - o problema tem solução**. 2007. Disponível em: <<http://www.sermelhor.com/artigo.php?artigo=61&secao=ecologia>>. Acesso em: 11 de Novembro de 2010.

REIS, M.F.P.; ELLWANGER, R.M.; FLECK, E. **Destinação de óleos de fritura**. 2007. Disponível em: <http://www6.ufrgs.br/sga/oleo_de_fritura.pdf>. Acesso em: 22 de Maio de 2011.

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Programa de uso racional da água**. 2008. Disponível em: <http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=3&proj=sabesp&pub=T&nome=Uso_Racional_Agua_Generico&db=>>. Acesso em: 30 de Abril de 2011.

SANTIAGO, F.L.S. e ULBANERE, R.C. Estudo da viabilidade técnica e econômica para aproveitamento de resíduos florestais de *Eucalyptus Grandis*. In: I Simpósio Internacional de Ciências Integradas da UNAERP Campus Guarujá. **Anais...** São Paulo, 2002.

SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Resolução - RDC nº 54, de 22 de dezembro de 2006. Define critérios para o Controle da Qualidade do Ar. **Diário Oficial [do Estado do Paraná]**, Curitiba, 25 de Janeiro de 2007.

SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Resolução - RDC nº 42, de 22 de julho de 2008. Estabelece critérios para a queima de resíduos em caldeiras e dá outras providências. **Diário Oficial [do Estado do Paraná]**, Curitiba, 22 de Julho de 2008.

SILVA, P.R.F. e FREITAS, T.F.S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.3, p.843-851, mai-jun, 2008.

SOLOMONS, T.W. **Química Orgânica**. Ed. LTC. Rio de Janeiro, 2002.

ZHANG, Y. et al. **Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment**. Bioresource Technology, 2003.