

UM ESTUDO SOBRE A APLICABILIDADE DO *JUST-IN-TIME* NA FABRICAÇÃO DO ETANOL

A STUDY ON THE APPLICABILITY OF *JUST-IN-TIME* IN MANUFACTURING OF ETHANOL

Marcelo Giroto Rebelato* E-mail: mgiroto@fcav.unesp.br
Leonardo Lucas Madaleno** E-mail: leonardo.madaleno@fatec.sp.gov.br
Andréia Marize Rodrigues * E-mail: andreiamarize@fcav.unesp.br

*Universidade Estadual Paulista, UNESP, Jaboticabal, SP

** Centro Estadual de Educação Tecnológica "Paula Souza", FATEC, Jaboticabal, SP

Resumo: O objetivo deste artigo é analisar a aplicabilidade do Sistema *Just-in-Time* (JIT) na fabricação do etanol. Para isso, foram selecionados da literatura especializada os requisitos que compõem o Sistema JIT de modo que cada requisito identificado foi confrontado com as características e particularidades do processo e da tecnologia atual de produção do etanol. Concluímos que, apesar de o requisito mais marcante do Sistema JIT, a fabricação no ritmo da "puxada do cliente" não ser possível na fabricação do etanol dadas as características peculiares da sua principal matéria-prima, a cana, concluímos que o JIT é aplicável ao sistema produtivo do etanol e pode trazer benefícios reais às empresas que o adotarem.

Palavras-chave: Sistema JIT. Requisitos do Sistema JIT. Fabricação do etanol. Sistema JIT aplicado à fabricação do etanol.

Abstract: The aim of this paper is to analyze the applicability of the Just-in-Time (JIT) System in manufacturing of ethanol. For this, were selected from the specialized literature the requirements that make up the JIT System so that each requirement identified was confronted to the characteristics and peculiarities of the process and current technology of producing ethanol. We conclude that, although the most significant requirement of the JIT system, manufacturing in the rhythm of "customer pull" is not possible in the manufacture of ethanol given the peculiar characteristic of its main raw material, sugarcane, we conclude that JIT is applicable to the ethanol production system and can bring real benefits to companies that adopt it.

Keywords: JIT System. JIT System requirements. Manufacturing of ethanol. JIT System applied to the manufacturing of ethanol.

1 INTRODUÇÃO

O *Just-in-Time* (JIT) é um conceito de administração da produção calcado na meta de produzir apenas o volume necessário de um item exatamente no momento necessário (KIMURA e TERADA, 1981). O impacto positivo da adoção do JIT nos

aspectos operacionais e estratégicos das empresas privadas é atualmente bem documentado (SHIN e MIN, 1991; WAFA e YASIN, 1998). O JIT foi desenvolvido por Ohno (1988) para atender a competição global por meio de uma estratégia de eliminação dos desperdícios na produção, do incremento da comunicação interna (dentro da organização) e externa (entre a empresa e seus consumidores e fornecedores), do equilíbrio do fluxo de materiais em produção, da redução dos custos de compras e de tempos de produção e por meio do incremento da qualidade e da produtividade da fábrica (YASIN et al., 2001; GOLHAR e STAMM, 1991; MONDEN, 1984).

O JIT aplica-se principalmente a processos de produção repetitiva em que os mesmos produtos e componentes unitários são produzidos repetitivamente (AL-TAHAT e MUKATTASH, 2006). Este tipo de produção também é chamado de produção discreta. De acordo com Abdumalek et al. (2006), no processamento discreto, a matéria-prima individualizada é movimentada de uma operação à outra de maneira que cada item singular é processado de forma unitária em cada operação de agregação de valor. Processa-se, dessa forma, uma peça de cada vez.

Em contraponto ao processamento discreto situa-se o processamento contínuo, caracterizado por um tipo de fabricação com nenhuma ou quase nenhuma interrupção na linha seqüencial de operações de agregação de valor à matéria-prima, pois esta, em geral, não pode ser dividida ou tomada de forma discreta (ABDULMALEK et al., 2006). A indústria sucro-energética é um exemplo de indústria que emprega exclusivamente o processamento contínuo.

Apesar do exposto, sabe-se que há benefícios tangíveis na adaptação das técnicas JIT a sistemas de processamento não discretos (AGRAWAL, 2010). Por exemplo, na planta da *DuPont* em Camden, estado da Carolina do Sul (EUA), onde produtos têxteis são fabricados, o JIT foi utilizado para resolver o problema de falta de produtos, estoques excessivos, e a falta ou a troca dos fios na área de fiação (BILLESBACH, 1994). Na *Dow Chemical* (EUA), os princípios do JIT foram usados entre a empresa e seus clientes para incrementar em 25% a acuracidade da previsão da demanda, para reduzir em 25% o *lead-time* médio de distribuição e para reduzir em 37% os níveis de estoque em matérias-primas (COOK & ROGOWSKI, 1996).

Dado o contexto apresentado, o objetivo deste trabalho é analisar a aplicabilidade da utilização do Sistema JIT na fabricação do etanol. O artigo contribui no aprofundamento da análise e no melhor entendimento sobre as possibilidades de incremento da eficiência e da eficácia das operações produtivas dentro da manufatura sucro-energética. Esse debate é importante na medida em que o Brasil é nos dias atuais, um pólo irradiador de tecnologia de produção de etanol. O país situa-se como o segundo maior produtor mundial deste combustível, apresentando ao redor de 30 bilhões de litros produzidos na safra 2010/2011, somando-se o etanol hidratado, que abastece os carros denominados *flex fuel* (40% da frota de veículos leves) e o etanol anidro, misturado à gasolina, na proporção de até 25%. A região Centro-Sul corresponde a 91% da produção brasileira (UNICA, 2011).

2 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

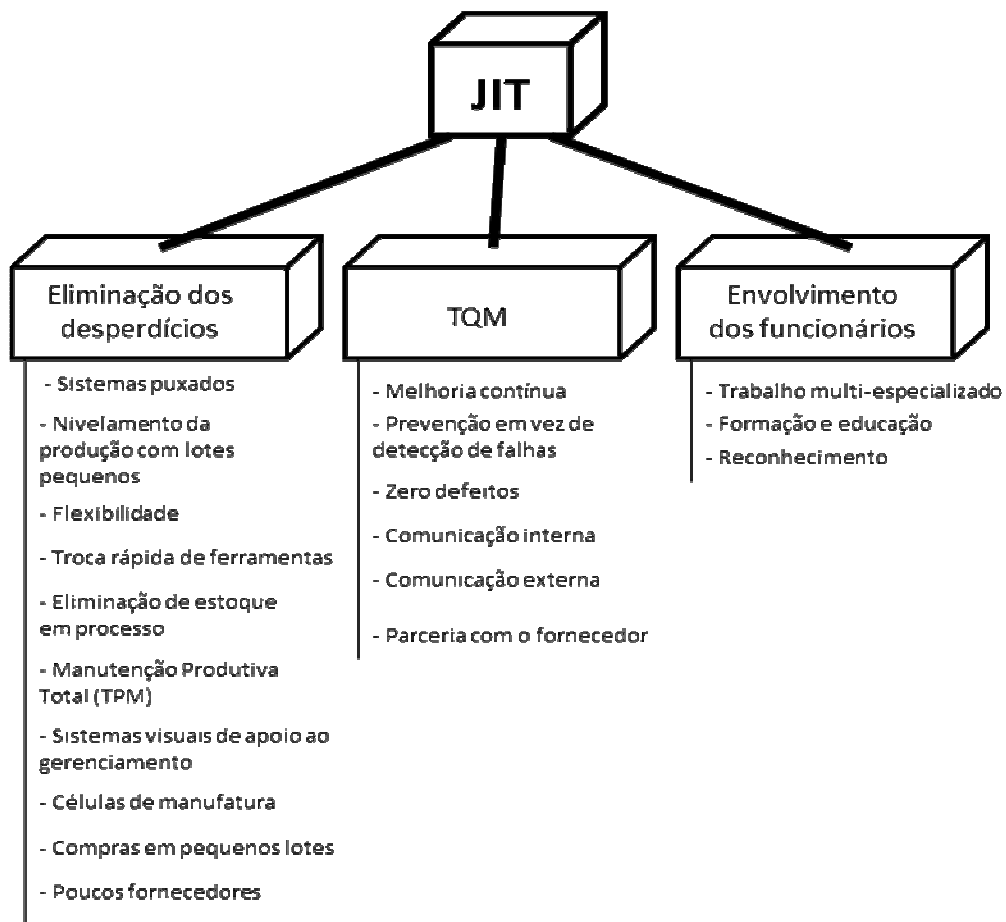
A metodologia de pesquisa utilizada foi composta por quatro etapas, a saber:

1. Conceituação do Sistema JIT: com vistas à análise pretendida torna-se imprescindível conceituar e caracterizar o Sistema JIT;
2. Identificação dos requisitos necessários para o funcionamento do Sistema JIT: as organizações que desejam utilizar a abordagem JIT na fabricação devem implantar os “blocos” que sustentam o Sistema JIT. Esses blocos foram estabelecidos no início de 1950 por T. Ohno, ex-vice-presidente executivo da Toyota Motor Company (OHNO, 1988) e incluem: 1) a eliminação dos desperdícios; 2) o *Total Quality Management* (TQM); 3) o envolvimento dos funcionários. Por meio da pesquisa bibliográfica identificamos as técnicas que se concatenam e que formam a base lógica para a viabilidade dos três blocos citados conforme apresentados na Figura 1. Estas técnicas são explanadas no item três adiante e serão tratadas como requisitos necessários ao funcionamento de um Sistema JIT;
3. Descrição do processo de produção do etanol e identificação das suas particularidades: o processo de produção do etanol é complexo e extenso.

Desse modo, ele foi descrito de forma sintética, com detalhamento suficiente para possibilitar o entendimento da etapa seguinte;

4. Confrontação entre as etapas dois e três: o grau de aplicabilidade do JIT na produção de etanol será apontado por meio da confrontação analítica entre cada técnica que sustenta o Sistema JIT de produção identificado na etapa dois com o processo de produção do etanol descrito na etapa três.

Figura 1 – Técnicas JIT classificadas em três blocos de sustentação



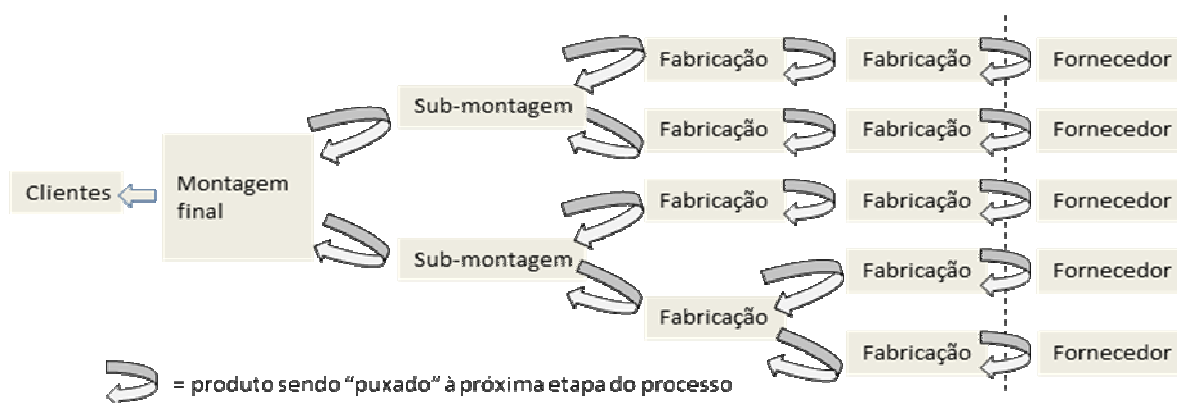
Fonte: Elaborada pelos autores

3 SISTEMA JIT – CONCEITO E TÉCNICAS

Conforme Davis et al. (2001), o Sistema JIT é um conjunto de atividades dirigidas à produção em elevado volume e que utiliza estoques mínimos de

matérias-primas, de estoque intermediário e de bens acabados. Nada é produzido até que seja necessário. A Figura 2 ilustra o processo. Quando um item é vendido, em teoria, o cliente puxa uma substituição a partir da última posição no sistema - a montagem final, nesse caso. Isso dispara um pedido à linha de produção da fábrica, onde um trabalhador, então, puxa outra unidade de uma estação anterior no fluxo para substituir a unidade tomada. Essa estação anterior, então, puxa da estação anterior seguinte a ela, e assim por diante, até a distribuição de matéria-prima. Para que esse processo "puxado" funcione de forma fluida, o JIT requer altos níveis de qualidade em cada etapa do processo, relações fortes com vendedores e uma demanda razoavelmente previsível para o produto final.

Figura 2 – Sistema de puxar



Fonte: Adaptado de Davis et al. (2001, p.407)

O Sistema de manufatura JIT trabalha sob um regime de produção altamente integrado (por meio da função de vendas) à taxa de demanda dos produtos. Isto requer do sistema produtivo trabalhar sem falhas (com zero defeitos), num fluxo contínuo de produção e ao mesmo tempo num ritmo suavizado de fabricação. JIT é sobre fazer as coisas bem simples e, gradualmente, fazê-las melhor, baseado nos princípios da melhoria contínua. JIT é reduzir o desperdício e melhorar a qualidade em todas as operações da empresa (CHANDRA e KODALI, 1998). A partir deste enfoque mais amplo, identificamos a seguir, com maior detalhamento, os requisitos necessários ao funcionamento de um Sistema JIT:

- a) **Sistemas puxados** - o JIT deve adotar um fluxo de produção em que as peças, subconjuntos e produtos cheguem à linha de produção quando necessário. A taxa de fluxo deve estar em consonância com a taxa de demanda para o produto acabado (MOULD e KING, 1995). Dessa forma, como acima explanado, o JIT deve articular-se por meio do mecanismo de “puxar” a produção ao longo do processo, de acordo com a demanda. No sistema puxado o material somente é processado em uma operação se este é requerido pela operação subsequente no processo, a qual, no momento necessário, envia um sinal que funciona como uma “ordem de produção” à operação fornecedora para que esta inicie a produção e a abasteça. Se um sinal não é enviado a operação não é iniciada (CORRÊA e CORRÊA, 2004);
- b) **Nivelamento da produção com lotes pequenos** – o JIT deve estabilizar e nivelar o planejamento da produção com carga uniforme em todos os centros de trabalho através da produção diária e constante (AGRAWAL, 2010). Isto significa que o JIT deve reduzir o impacto das variações no planejamento da produção (BROWN *et al.*, 2005), produzindo quantidades (lotes) cada vez menores. Os benefícios mais importantes no nivelamento da carga é que esta estabelece as bases do equilíbrio, produzindo o produto de forma harmoniosa e previsível (SWANSON e LANKFORD, 1998);
- c) **Flexibilidade** - outro benefício do carregamento nivelado é o aumento da flexibilidade. Se o consumidor muda o produto comprado, a empresa é mais capaz de atender a demanda com sucesso já que as alterações das ordens de produção são feitas com facilidade. O *lead-time* também é reduzido com o nivelamento da carga. Se um produto era produzido uma vez por mês, e agora ele é produzido diariamente, o consumidor poderá receber o produto antes (SWANSON e LANKFORD, 1998);
- d) **Troca rápida de ferramentas** – a troca de ferramenta é um procedimento que se enquadra no processo chamado “*set-up* de máquina” e ocorre no momento em que a produção decide “virar a linha”, jargão popular do “chão de fábrica” para a fabricação de outro item. Como os lotes são pequenos, então a frequência de *set-ups* tende a ser grande. Desta forma, o objetivo do JIT é trabalhar com maior número de *set-ups* de máquinas, porém sem custos

adicionais. Como resposta, deve-se encontrar formas de reduzir o tempo de *set-up*, e depois reinvestir o tempo economizado em *set-ups* mais freqüentes (SWANSON e LANKFORD, 1998);

- e) **Eliminação de estoque em processo** - a idéia central do JIT está centrada na produção das unidades necessárias (ou seja, na produção somente da quantidade necessária) apenas no tempo necessário. Isto significa, por exemplo, que no processo de montagens de peças e componentes necessários para montar um carro, as submontagens necessárias do processo precedente devem chegar a este processo precedente somente no tempo necessário e nas quantidades necessárias. Se o JIT é realizado por toda a área de fabricação, então os estoques desnecessários na fábrica (estoques em processo) são eliminados, tornando os almoxarifados e áreas de estocagem desnecessárias. O custo de manter estoques é reduzido e a rotatividade do capital de giro aumentada (MONDEN, 1984; THENG, 1993; SWANSON e LANKFORD, 1998; KONDO, 2002; BROWN *et al.*, 2005);
- f) **TQM** - a qualidade é crucial em um programa de JIT e o TQM, apoiado pela prática diária da melhoria contínua, é visto como o irmão gêmeo do JIT. Ao invés de avaliar o controle de qualidade na inspeção final dos itens concluídos, a equipe de controle de qualidade se preocupa com a prevenção e não com a detecção de defeitos. O operador precisa ser o inspector do resultado de seu próprio trabalho e participar na coleta de dados para identificar problemas. Dessa forma, as empresas JIT devem seguir o conceito de qualidade na origem, ou seja, fazer corretamente na primeira vez tendo o “zero defeito” como meta. O JIT só pode ter sucesso se o processo for mantido sob controle. Projetos à prova de falhas auxiliam a corrigir o processo mais facilmente em caso de desvios na fabricação. Por exemplo, inspeções durante o processo auxiliado por sistemas eletrônicos, mecânicos ou pneumáticos podem emitir alarme para alertar o operador sobre desvios detectados (THENG, 1993; MOULD e KING, 1995; SWANSON e LANKFORD, 1998; KONDO, 2002; CHONG *et al.*, 2001; VOKURKA *et al.*, 2007);

- g) **TPM (Total Productive Maintenance)** - outro requisito para a implementação bem-sucedida é JIT bom funcionamento e manutenção dos equipamentos. Neste contexto, Manutenção Produtiva Total (TPM) é um sistema que é usado no JIT para assegurar que as máquinas e ferramentas necessárias para fazer produtos de qualidade estejam disponíveis. A equipe de manutenção tem a responsabilidade de prevenir rupturas na linha de produção. Por sua vez, o operador que utiliza a máquina faz a maior parte dos reparos (MOULD e KING, 1995; SWANSON e LANKFORD, 1998; BAMBER *et al.*, 2000);
- h) **Sistemas visuais de apoio ao gerenciamento** - no JIT, idealmente, todos os dados de produção em um sistema JIT devem estar altamente visíveis (sistemas visuais de gerenciamento), dado que essas práticas permitem uma gestão no estilo gerenciar "passeando", discutindo problemas e questões sobre o chão de fábrica que possam surgir (MOULD e KING, 1995);
- i) **Células de manufatura** - no JIT o *layout* da planta é projetado para facilitar o fluxo através do agrupamento de máquinas que são usadas em arranjos chamados de "células de manufatura", onde produtos com características físicas similares (e, portanto pertencentes a uma mesma família) são fabricados (MOULD e KING, 1995; WAFA e YASIN, 1998);
- j) **Compras em pequenos lotes** - com o Sistema de produção JIT, os materiais são comprados em pequenas quantidades e entregues pouco antes de serem necessários para a produção. Ao encomendar pequenos lotes que são consumidos quase tão logo que eles chegam, a organização pode utilizar o espaço economizado para fins de produção (SWANSON e LANKFORD, 1998);
- k) **Poucos fornecedores** - além de ordens de produção com lotes menores, é mandatário para a filosofia JIT uma redução no número de fornecedores. O impacto dessa redução é que a qualidade do relacionamento entre compradores e fornecedores melhora à medida que se estabelece uma "parceria" para trabalhar em conjunto. Além disso, melhores comunicações ocorrem quando mudanças importantes que ocorrem nas especificações precisam ser comunicadas a um reduzido número de fornecedores. Outra

vantagem é a redução do trabalho burocrático com benefícios em termos de custos e economia de tempo (SWANSON e LANKFORD, 1998);

- l) **Parceria com o fornecedor** - o relacionamento JIT comprador-fornecedor é baseado em uma parceria na criação mútua de lucros, ou seja, partilha equitativa dos benefícios (“jogo de ganha-ganha” para ambas as partes). Nesta parceria, a ênfase do comprador é desenvolver uma estreita relação de cooperação com um número relativamente pequeno de fornecedores cuidadosamente selecionados, com um relacionamento de longo prazo em mente (SWANSON e LANKFORD, 1998; YASIN et al., 2001). No JIT a confiança entre o fabricante e o fornecedor é fundamental para o conhecimento das exigências mútuas e para a resolução conjunta de problemas com visitas mútuas e amplo acesso aos projetos e informações (MOULD e KING, 1995);
- m) **Apoio à força de trabalho** – fundamental para o JIT é o envolvimento dos funcionários, cujo ambiente de trabalho deve ser comunicativo, organizado de modo a ouvir os problemas de chão de fábrica, com a equipe de produção disposta a encontrar soluções para problemas de fabricação. O reconhecimento dos funcionários pelas conquistas e sucessos obtidos é um fator importante como incentivo para os trabalhadores em um ambiente JIT. Formação e educação são importantes para uma força de trabalho multi-especializada, já que os operadores devem ser encorajados a operar fora de sua especialidade original (MOULD e KING, 1995; RAMARAPU et al., 1995; SWANSON e LANKFORD, 1998; WAFA e YASIN, 1998);
- n) **Comunicação interna** – é requisito para o JIT melhorar a comunicação entre a administração e funcionários. A comunicação entre os níveis hierárquicos é incentivada para fomentar uma atitude positiva sobre as relações interpessoais. Na resolução de problemas a filosofia a ser adotada é a gestão por consenso. A filosofia JIT prevê envolvimento da força de trabalho em todos os aspectos das decisões de produção. O envolvimento da gerência com um sistema de produção JIT exige que eles dêem um passo atrás e permitam que os funcionários da produção assumam algumas das responsabilidades próprias de gerência. Com o sistema JIT, a empresa

funciona mais como uma equipe do que como o tradicional relacionamento hierárquico baseado no comando pelo chefe (SWANSON e LANKFORD, 1998; RAMARAPU *et al.*, 1995; YASIN *et al.*, 2001).

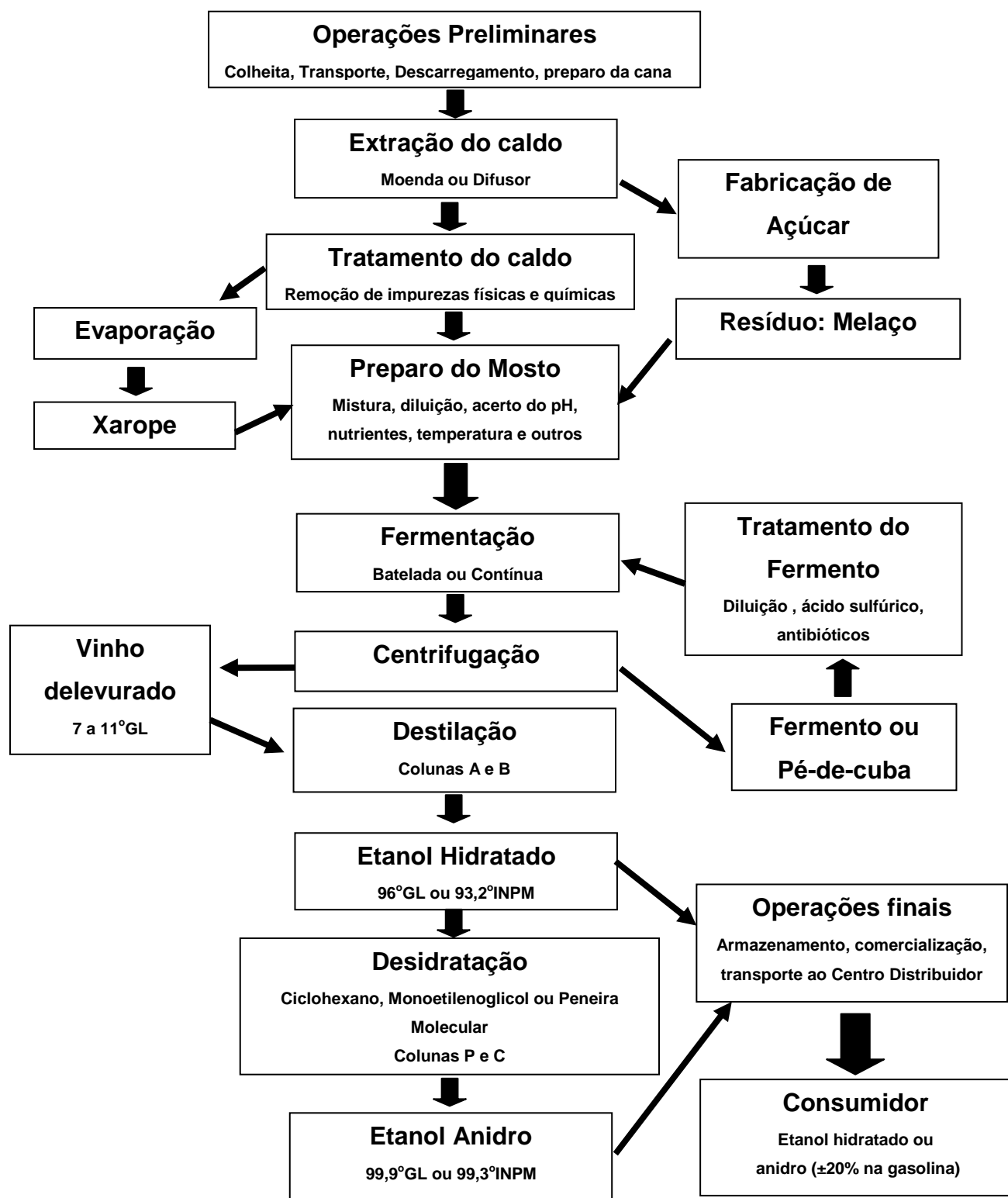
- o) **Comunicação externa** - Neste ambiente “ganha ganha”, a comunicação é um ingrediente essencial para o desenvolvimento de relações de sucesso entre fornecedor e comprador. Novos ou padrões de comunicação incluem: informações sobre custos, cronogramas de entrega e sobre qualidade mais livremente trocados; eliminação das ordens de compra para cada remessa; envolvimento dos fornecedores no desenvolvimento de especificações de projeto; formação de forças tarefas para resolver problemas; uso de intercâmbio eletrônico de dados (EDI) (SWANSON e LANKFORD, 1998).

4 O PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ETANOL

Conforme ilustrado na Figura 3, a primeira etapa de produção do etanol é a colheita da cana, que pode ser realizada de forma manual ou mecanizada. Antes dessa atividade pode ser utilizado fogo para a limpeza das folhas secas que dificultam a colheita ou simplesmente realiza-se a colheita mecanizada sem a queima, gerando uma matéria-prima conhecida como “cana crua” (RIPOLI e RIPOLI, 2004). Na colheita mecanizada, a colhedeira realiza o corte da cana ao mesmo tempo em que alimenta o transbordo, veículo que trafega ao lado da colhedeira, recebendo deste a cana picada em toletes. O transbordo é especialmente adaptado com pneus largos para não causar compactação ao solo.

Depois de carregado, o transbordo alimenta as carretas de transporte, as quais ficam aguardando do lado de fora da área colhida. No processo de colheita mecanizada, a cana é cortada no topo e na base, são retiradas as folhas e em seguida a cana é picada em toletes de menor tamanho para aumentar a eficiência do transporte por meio da redução dos espaços vazios.

Figura 3 - Fluxograma da produção de bioetanol desde a etapa de colheita até a utilização do etanol hidratado ou anidro pelo consumidor final



Fonte: Elaborada pelos autores

Na colheita manual realiza-se o corte do ponteiro e da base da cana, a retirada das folhas e a montagem do feixe para posterior carregamento das carretas de transporte (RIPOLI e RIPOLI, 2008). O carregamento é realizado através de guindastes que coletam o material enfeixado e os acondicionam nas carretas.

Após o carregamento, as carretas seguem para a usina onde são pesadas duas vezes para a estimativa do peso da carga de cana. O peso é estimado através da diferença entre o peso de entrada e o peso depois de descarregadas. Uma amostragem é realizada em aproximadamente 30% das cargas para a avaliação da qualidade da matéria-prima. Essa análise é útil para o pagamento de fornecedores terceirizados, controle da etapa agrícola e industrial (CONSECANA, 2006).

Em seguida, realiza-se o descarregamento da cana na usina por meio de três principais formas: por guindastes do tipo hillo (estrutura treliçada para elevação da cana), ponte rolante ou tombador lateral. A cana é descarregada em uma mesa que tem a função de homogeneizar a entrada de cana na esteira principal. Nessa mesa pode ser utilizado o método de lavagem úmida (nos colmos inteiros de cana) para retirada de impurezas minerais aderidas. Esse processo não pode ser utilizado na cana picada em toletes por acarretar perdas significativas de sacarose. Algumas empresas realizam a limpeza a seco para a retirada de impurezas vegetais que se elevaram com a utilização da colheita mecanizada da cana crua (BOVI e SERRA, 2001).

A cana que passou pelo processo de limpeza segue para a etapa de preparação. A preparação é realizada por meio de facas niveladoras, cortadoras e desintegradores com martelos. A função desta etapa é retalhar a cana com o intuito de abrir as células. As facas niveladoras, cortadoras e o desintegradores trabalham em elevada velocidade e reduzida pressão. Sendo assim, não devem extrair o caldo (MARQUES, 2001).

A etapa seguinte, extração do caldo, pode ser realizada por meio de moendas ou difusor. Na extração por meio de moendas o método mais utilizado é um conjunto de quatro a seis ternos e processo de embebição do caldo com água para recuperar a maior quantidade possível de sacarose. Há a diferenciação dos caldos extraídos. O caldo primário, mais rico em sacarose e resultante da extração do primeiro terno de moagem será conduzido para o processo de produção de açúcar. O caldo

secundário, resultante das embebições aplicadas nos demais ternos, é enviado para a produção de etanol. Há usinas que misturam o caldo primário e o secundário gerando, desse modo, o denominado “caldo misto”.

Para o caso de extração do caldo por difusão, realiza-se a lavagem da cana através de várias embebições de forma a retirar quase toda a sacarose do bagaço por meio da lixiviação e osmose. Após o difusor há dois ternos de moenda para comprimir o bagaço, reduzir o teor de umidade e retornar o líquido para o difusor.

A secagem do bagaço é sempre necessária, seja na extração por moendas ou por difusor, pois o bagaço é enviado para queima nas caldeiras, gerando energia.

Depois da extração do caldo tem-se a etapa de tratamento do caldo (ou clarificação), a qual é realizada por meio da peneiragem por peneiras rotativas e *cush-cush*, caleagem branda com o pH até 6,0 para remoção de impurezas, seguida de aquecimento e decantação.

Após a decantação obtém-se o caldo clarificado, sendo que o resíduo gerado (chamado de lodo ou borra) é enviado para a recuperação da sacarose aderida (BOVI e SERRA, 2001) por meio de filtros prensa e/ou rotativo, dando origem à torta de filtro. Essa torta é aplicada no campo na adubação do solo para o cultivo da cana-de-açúcar.

Após o tratamento do caldo segue-se a etapa de preparo do mosto. Esta etapa inicia-se com a diluição da concentração de sólidos solúveis totais (Brix) no caldo clarificado. Ressalta-se que nesse momento pode haver a adição de outra substância muito utilizada na indústria sucroalcooleira, o melaço, que é um resíduo da produção de açúcar. O melaço apresenta o teor sacarose esgotado economicamente ao máximo no processo de cozimento. No entanto, ele ainda é rico e concentrado em sacarose, glicose e frutose sendo, desta forma, aproveitado na produção do etanol.

No preparo do mosto, além da correção da concentração, deve ser realizado a redução do pH para 4,5, o acerto da temperatura para em torno de 32°C, e o suprimento de deficiências nutricionais. Para o caldo de cana geralmente não é necessário corrigir os nutrientes, pois com uma adubação do solo realizada corretamente no cultivo em campo, o caldo apresenta todos os nutrientes necessários. Por outro lado, o mosto de melaço deve ser corrigido, pois

frequentemente apresenta baixa concentração de nitrogênio, fósforo e cálcio, retirados no processo de clarificação do açúcar.

Após a etapa de preparo do mosto realiza-se a mistura com fermento selecionado da espécie *Saccharomyces cerevisiae* e inicia-se a etapa de fermentação. A fermentação pode ser realizada em batelada ou de forma contínua (DIAS, 2008). No processo em batelada utiliza-se a dorna de fermentação que recebe o mosto e o fermento tratado. Nesta dorna obtém-se o vinho levedurado. Por outro lado, no processo de fermentação contínuo, o início da fermentação acontece numa primeira dorna que recebe carga contínua de mosto e essa fermentação é conduzida em sequência em mais três ou quatro dornas. Na última dorna obtém-se o vinho levedurado.

Após a fermentação (para ambos os processos acima descritos) realiza-se a centrifugação do vinho com o objetivo de separá-lo da levedura (MANTOVANELI, 2005). O vinho é então encaminhado para a dorna volante e a seguir vai para o processo de destilação. A levedura, por sua vez, é conduzida ao setor de tratamento para que seja reutilizada. No tratamento da levedura, realizado em recipientes especiais denominados cubas de tratamento, o leite de levedura (fermento concentrado pela centrífuga com pouca quantidade de vinho) é diluído com água. Em seguida, adiciona-se ácido sulfúrico à levedura para reduzir o pH a 2,5 e assim eliminar a maioria das bactérias contaminantes (DIAS, 2008). Em alguns casos adicionam-se antibióticos para o controle da contaminação, caso esta se encontre em níveis elevados. Podem também ser adicionados anti-espumantes e dispersantes. Em sequência, a levedura tratada retorna ao processo de fermentação para iniciar um novo ciclo.

O vinho que foi levedurado segue ao processo de destilação, o qual tem como objetivo a separação do etanol dos demais componentes do vinho. A concentração de etanol no vinho é de 7 a 9°GL porém, este álcool ali presente está misturado à água e a outras substâncias. O processo de destilação consiste na separação dos líquidos que possuem pontos de ebulição diferentes. No vinho, o etanol é o líquido qualitativo, pois possui ponto de ebulição menor do que a água, que é o líquido quantitativo. No momento da evaporação o etanol sai no vapor em maior concentração do que a água. A seguir, o vapor é condensado e esse líquido

resultante apresenta maior concentração de etanol do que aquele que o originou (MARAFANTE, 1993).

Na fabricação de etanol a destilação é realizada em colunas que apresentam pratos no seu interior. Esses pratos são responsáveis pela purificação do etanol, em níveis crescentes, à medida em que os vapores se direcionam ao topo da coluna. O vinho delevurado é aquecido antes de entrar na coluna de destilação A. Essa coluna é denominada coluna de esgotamento de álcool e gera como resíduo a vinhaça e produz também o denominado “álcool de segunda”. O principal produto dessa coluna é o flegma, que apresenta concentração alcoólica de 40 a 50°GL e é enviado para a coluna B, de redistilação ou retificação (MARAFANTE, 1993).

Segundo o autor acima, na coluna B, o flegma entra acima do terço inferior e vai se desalcoolizando à medida em que se desloca para a base da coluna. Nesta, retira-se a flegmaça, a qual deve apresentar concentração alcoólica próxima de zero. Acima do terço inferior encontram-se os álcoois superiores (resíduos) que se acumulam e devem ser retirados para não prejudicar o processo de purificação do etanol. Esse resíduo é denominado óleo fúsel.

No topo da coluna B sai o vapor que será encaminhado aos condensadores. Uma parte do condensado retorna ao topo da coluna B (refluxo para auxiliar na retirada das impurezas) e a outra parte é enviada à dorna volante para futura recuperação do etanol. Logo abaixo do topo da coluna B retira-se o etanol hidratado, o qual apresenta concentração alcoólica de 96°GL. A partir dessa concentração, o processo de destilação torna-se ineficiente na separação entre a água e o etanol, pois essa substância hidroalcoólica possui característica de uma substância azeotrópica. Essa propriedade faz com que o vapor produzido tenha a mesma concentração de etanol do líquido que o gerou. Portanto, faz-se necessário utilizar algumas técnicas para desidratar o álcool hidratado.

Existem três métodos para desidratar o etanol com 96°GL: o extrativo, o azeotrópico e a peneira molecular. No primeiro caso são adicionadas substâncias que aprisionam a água e assim possibilitam separar a água do etanol na destilação. A substância mais utilizada nesse método é o monoetilenoglicol (MEG). No método azeotrópico é utilizado o ciclohexano, o qual gera uma substância ternária de menor ponto de ebulição, retendo então a molécula de água. Esses dois métodos de

desidratação são utilizados na coluna C e na coluna P. Quando se utiliza o MEG, o etanol anidro é retirado no topo da coluna C, enquanto que quando se utiliza o ciclohexano, o etanol de graduação 99,9^oGL sai na base da coluna C. Nos dois métodos as substâncias adicionadas são recuperadas e reutilizadas.

A peneira molecular, método mais caro de desidratação, possui elevada capacidade de adsorção seletiva porque é constituída de um mineral especial para este fim denominado zeólita. Esse equipamento é construído de forma a reter a água à medida em que o etanol passa. Retira-se, por meio deste método, etanol anidro de alta qualidade, sem resíduos químicos. Por isso, é o método preferido para o etanol que é exportado.

Após o processo de destilação o etanol é enviado para tanques especiais de armazenamento. Depois de comercializados, o etanol hidratado ou anidro são transportados até as empresas distribuidoras e por fim, chegam ao consumidor final.

5 ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO JIT NA PRODUÇÃO NA FABRICAÇÃO ETANOL

Após a descrição do processo de produção do etanol, apresentamos a seguir a análise de cada requisito do Sistema JIT sob o ponto de vista das particularidades e restrições do processo em questão:

- a) **Sistemas puxados** – a aplicação do sistema puxado de produção na fabricação do etanol tem como barreira a natureza perecível e sazonal da sua principal matéria-prima. A cana, depois de colhida no campo, degrada-se facilmente. Por outro lado, não é possível o fornecimento de cana em todos os meses do ano. Sua colheita é definida pelo período de safra e não pelos pedidos do consumidor. Desse modo, o extremo do sistema produtivo oposto ao cliente, o ponto onde se localiza o fornecimento da matéria-prima, transforma-se numa barreira intransponível à introdução da fabricação no ritmo da “puxada do cliente”, considerando-se a tecnologia atualmente disponível;

- b) **Nivelamento da produção com lotes pequenos** – Na produção seriada os lotes pequenos de fabricação, além de contribuírem para a diminuição dos estoques em processo, permitem a fabricação de uma maior variedade de produtos. Este claramente não é o caso da fabricação do etanol que, por um lado, possui processo contínuo de fabricação (e, portanto, naturalmente nivelado) sem estoques intermediários, e por outro lado, possui baixo nível de diferenciação. A sazonalidade e a perecibilidade da cana tornam quase impossível produzir etanol em pequenos lotes. Como decorrência, as indústrias armazenam em elevada quantidade a produção do etanol, buscando obter maiores lucros com a venda do produto na entressafra;
- c) **Flexibilidade** – curiosamente, o carregamento nivelado não se mostra uma vantagem em termos de flexibilidade operacional à fabricação do etanol por tratar-se de um produto de baixa diferenciação. Além disso, é notável característica da indústria sucroalcooleira a utilização maciça de equipamentos muito grandes, estáticos e inflexíveis (rolos de pressão, esteiras, tanques volumosos, colunas de destilação, trocadores de calor, caldeiras, fornos, bombas, compressores, redutores, motores elétricos, turbinas a vapor, etc). Os dois combustíveis principais produzidos pelas usinas são o etanol hidratado e o anidro. Não há escolhas disponíveis ao consumidor: o etanol anidro é adicionado compulsoriamente à gasolina e o etanol hidratado é utilizado em veículos equipados com motores movidos exclusivamente a etanol ou *flex fuel*. Algumas marcas utilizam substâncias no etanol hidratado que protegem o motor e, por exemplo, oferecem ao consumidor o “etanol hidratado aditivado”. Entretanto, trata-se de uma diferenciação tímida, e ocorre somente da distribuidora para o consumidor;
- d) **Troca rápida de ferramentas** – A troca rápida de ferramentas, que permite ao Sistema JIT a realização da chamada “virada de linha” para a fabricação de outro produto não faz sentido em um ambiente de baixa diferenciação como o de produção do etanol, pois se trata de uma linha “dedicada” e inflexível de fabricação. A produção do etanol, como já afirmado, é realizada por meio de processo contínuo, e a diferenciação é somente possível no final

da produção quando se opta pelo álcool hidratado ou pelo anidro, sendo possível a fabricação de ambos simultaneamente;

- e) **Eliminação de estoque em processo** – com a evolução da tecnologia e a automação do sistema produtivo, houve redução do tempo requerido para a transformação da matéria-prima em produto final. No sistema produtivo do etanol não há estoque em processo. O etanol é o produto final que é acumulado nos tanques à espera de comercialização. Uma possibilidade futura é a aplicação viável da produção de etanol de segunda geração, produzido a partir do bagaço da cana. Neste caso, o armazenamento poderia tornar-se antieconômico por causa da possibilidade de produção fora da época de safra, pois o bagaço poderia ser armazenado e utilizado na entressafra para a usina não parar a produção;
- f) **TQM** – o TQM é uma filosofia de trabalho universalmente aplicável a qualquer tipo de indústria. Como norteador da mudança cultural rumo ao comprometimento com a busca de desempenho superior, o TQM é de interesse da indústria sucroalcooleira na medida em que a excelência na qualidade ofertada é fonte de boa reputação e, em última instância, a “arma” competitiva mais poderosa que a organização pode dispor. Na produção do etanol, o TQM pode contribuir, por exemplo, com um fornecimento de matéria-prima de maior qualidade para o processo de fermentação de tal modo a reduzir a produção de subprodutos. A eliminação da contaminação bacteriana no processo fermentativo é uma preocupação constante, pois os subprodutos, se não eliminados no processo de destilação, podem reduzir a qualidade do etanol final. O etanol fora de especificações interfere na explosão do combustível nas câmaras do motor do automóvel, resultando em rendimento abaixo do esperado;
- g) **TPM (Total Productive Maintenance)** – O TPM é uma técnica aplicável a plantas de fabricação que utilizam desde sistemas produtivos contínuos e completamente integrados até sistemas de produção em bateladas. A natureza dos equipamentos estáticos e a extrema necessidade de confiabilidade dos equipamentos durante o período produtivo da usina requer foco intenso no diagnóstico de fendas, vazamentos, fissuras, afrouxamentos,

fadiga, falhas de isolamento, incrustações, corrosões, pressões em níveis perigosos, aquecimentos excessivos, sobrecarga elétrica, curtos-circuitos, etc. Paradas não planejadas no processo produtivo podem acarretar perdas financeiras consideráveis à indústria sucroalcooleira. A manutenção planejada é prática estabelecida nas usinas e realizada sempre na entressafra, quando as máquinas param. Porém, o TPM com sua modalidade de manutenção autônoma aliada ao treinamento intensivo podem evitar tempos de paradas não planejadas, contribuindo com a redução de perdas ocorridas durante o período produtivo, aumentando os índices de produtividade e de Eficiência Global do Equipamento (*OEE - Overall Equipment Effectiveness*);

- h) **Sistemas visuais de apoio ao gerenciamento** – técnicas visuais usuais do JIT como ferramentas *andon* (ferramenta visual destinada a informar, por meio de avisos luminosos quando algo anormal é detectado na linha produtiva) e ferramentas *jidoka* (mecanismo que permite ao operador interromper a produção assim que um problema ocorre) não foram originalmente projetados para operarem em sistemas contínuos de processamento com tratamentos físicos/químicos/biológicos, como na produção do etanol. Com o desenvolvimento de tecnologias de controle digitais remotas, concluiu-se que o melhor apoio gerencial para estes tipos de sistemas são os controles automatizados e centralizados. Dessa forma, a “automação com inteligência humana”, preconizada pelo JIT é uma realidade nas usinas, pois atualmente elas operam com Centros Operacionais Integrados (COI), que são sistemas computadorizados capazes de detectar remotamente deficiências e falhas na produção e determinar sua correção quase que instantaneamente;
- i) **Células de manufatura** – combinar as operações produtivas em células é possível quando se tem uma família de produtos a processar e quando se dispõe de equipamentos de pequeno porte. Como já citado, o processo de produção do etanol é do tipo dedicado e utiliza equipamentos vultosos e estáticos, além de serem produzidos apenas dois tipos de etanol. Neste contexto, não faz sentido pensar em combinarem-se as operações em células produtivas;

- j) **Compras em pequenos lotes** – O abastecimento da indústria sucroalcooleira depende altamente (mais de 70%) do setor agrícola. Com a disponibilidade sazonal da matéria-prima a compra de pequenas quantidades é praticamente impossível, pois o período de safra da cana vai de abril a novembro, sendo a safra uma função da composição dos cultivares de canas de açúcar oferecidas atualmente pelo mercado. Além disso, o abastecimento de cana deve ser contínuo e, como decorrência, a usina necessita de um perfeito gerenciamento dos processos de Corte e Carregamento e Transporte (CCT) da cana para que haja regularidade no fornecimento. Isto quer dizer que a logística do CCT tem como objetivo não manter estoques de cana por períodos superiores a 24h (por causa da contaminação por microorganismos e consequente biodeterioração) e ao mesmo tempo manter o CCT num ritmo sincronizado com o ritmo do processo de moagem;
- k) **Poucos fornecedores** – Os fornecedores da indústria alcooleira são em número reduzido. As usinas normalmente utilizam-se do arrendamento de terras ao redor da unidade industrial para o cultivo da cana-de-açúcar, mas geralmente uma parte da cana é entregue por agricultores terceirizados. A competição elevada de custo de produção fez com que alguns produtores se destacassem e continuassem no mercado, enquanto outros ofereceram a terra para ser arrendada. De um modo geral, a quantidade de fornecedores tem a tendência a diminuir, ajustando-se ao padrão JIT;
- l) **Parceria com o fornecedor** – a parceria com o fornecedor recomendada pelo Sistema JIT significa um relacionamento de longo prazo sem perder o sentido de objetividade. Neste contexto, a usina pode fixar índices de qualidade aos seus parceiros, principalmente aqueles da área agrícola, estabelecendo programas de manejo da cana (com indicadores para o manejo e transporte de mudas, plantio, conservação do solo, corte etc.), conciliáveis com as necessidades da fermentação do vinho sem, entretanto, aumentar o custo de produção da matéria-prima;
- m) **Apoio à força de trabalho** – Ao longo dos anos, o apoio da indústria aos colaboradores vem aumentando. Atualmente, são oferecidos cursos para condução de colhedoras, manutenção de máquinas, gestão empresarial,

cursos para formação de técnicos em laboratório, entre outros. Entretanto, o apoio à força de trabalho para a filosofia TQM envolve reconhecer valores individuais, compreender as motivações do funcionários e ouvi-los com o objetivo de incentivá-los ao aprendizado e ao desenvolvimento de capacitações. A educação é a pedra angular do TQM e a indústria sucroalcooleira tem a ganhar com políticas de financiamentos contínuos para a educação e o treinamento. Múltiplas formas de apreensão e transmissão do conhecimento são aplicáveis como cursos de variados formatos (presenciais, não presenciais, grupos de estudo, estudos práticos com visitas a outros departamentos ou outras empresas), *workshops* temáticos, palestras com especialistas de diferentes áreas, etc.;

- n) **Comunicação interna** – em um ambiente de fabricação JIT, que enfatiza a gestão da qualidade, a comunicação interna deve ser estabelecida pelo elemento grupal. A introdução dos chamados “times da qualidade” na indústria sucroalcooleira pode ser uma resposta eficiente à insuficiência na comunicação interna e à velocidade de reação. A estrutura de equipes de trabalho traz a promessa de prover aos trabalhadores autonomia com tarefas claras e completas para que saibam como estão contribuindo para a organização e melhorar as relações interpessoais. O trabalho em equipes autogerenciadas é vantajoso na medida em que permite a realização de um trabalho “mental”, em contraponto ao trabalho exclusivamente manual realizado na linha de produção. Este trabalho é fonte da criatividade tão necessária á melhoria contínua;
- o) **Comunicação externa** – a importância da comunicação externa entre usina e fornecedores repousa sobre o trabalho conjunto para soluções aos problemas e tomada de decisões. O principal elemento no processo de fornecimento de matéria-prima à indústria sucroalcooleira é o operador logístico responsável pelas operações de CCT. Nesta *interface* usina-operador logístico, é de interesse da empresa fabricante tornar o fluxo de informações mais ágil e confiável. Entre as atividades de *interface* estão o planejamento das áreas a serem colhidas a cada semana, o estudo prévio detalhado da área de colheita e o gerenciamento conjunto de eventos inesperados, tanto na fábrica quanto

no CCT, que podem parar a fábrica (como quebra em equipamentos, em veículos, chuvas excessivas, etc), pois é objetivo crucial na gestão do estoque de cana junto à usina para não deixar que a cana armazenada ultrapasse o período máximo de estocagem. Neste contexto, o desenvolvimento e implantação de plataformas eletrônicas podem possibilitar ganhos no fluxo de informações entre usina e operador logístico, pois possibilitam que a apresentação do dados sejam feitas *on line* e em tempo real, sem ter que esperar reuniões semanais para o conhecimento do *status* corrente do processo.

6 CONCLUSÕES

A partir da possibilidade vislumbrada pela literatura especializada internacional sobre a utilização do Sistema JIT em sistemas de fabricação contínuos, este artigo realizou uma análise sistemática sobre a factuabilidade do JIT na fabricação do etanol. Dos quinze requisitos analisados como indispensáveis à implantação da produção JIT, apenas cinco deles foram considerados ineficazes: adoção do sistema puxado de produção, alta flexibilidade, troca rápida de ferramentas, células de manufatura e compras em pequenos lotes.

O sistema puxado de produção torna-se inviável à fabricação do etanol dada a natureza sazonal e perecível da cana, sua principal matéria-prima. Sua oferta é dependente do período de safra. Além disso, a cana é um produto agrícola não estocável, o que faz com que o planejamento da produção seja executado em função da disponibilidade da matéria-prima.

Neste contexto, a flexibilidade operacional do sistema produtivo é baixa, pois o arranjo físico é planejado para fabricação contínua em grandes volumes. Desta forma, a produção do etanol emprega equipamentos vultosos, estáticos e dedicados, o que determina três consequências diretas. Como primeira consequência, a troca rápida de ferramental visando a fabricação de outro produto não é possível e não faz sentido em um ambiente de baixa diferenciação como o da produção do etanol. Como segunda consequência, inviabiliza-se a combinação das operações em células produtivas. Células produtivas justificam-se quando, a partir de uma *job-shop*

circunjacente, a empresa desloca equipamentos para a fabricação de uma família de produtos (produtos com características físicas similares), o qual não é o caso da produção do etanol. E, como terceira consequência, o abastecimento da cana deve ser realizado continuamente (dado o *start* no processo este não pode parar), o que torna irrealizável sua compra em pequenos lotes.

Por outro lado, quatro requisitos do Sistema JIT já fazem parte do sistema de produção do etanol. Em primeiro lugar, o produção trabalha em ritmo constante e nivelado. Em segundo lugar, não há estoque em processo no sistema produtivo. Em terceiro lugar, a operação de controle do sistema por meio de COIs faz o papel simultâneo das ferramentas JIT *andon* e *jidoka*. Por meio do COI é possível detectar anomalias em qualquer ponto do processo e também possível interromper o processo ou corrigi-lo em tempo real. E, em quarto lugar, a indústria sucroalcooleira utiliza poucos fornecedores, pois adquire relativamente uma baixa diversidade de matérias-primas, sendo a principal delas, a cana, produzida pela empresa em terras próprias, arrendadas ou com poucos fornecedores terceirizados.

Os seis requisitos do Sistema JIT restantes são perfeitamente aplicáveis à fabricação do etanol: 1) O TQM pode ser aplicado a qualquer tipo de empresa, e na indústria sucroalcooleira não poderia ser diferente. A qualidade deixou de ser um aspecto unicamente de controle do processo e responsabilidade apenas de um departamento específico, e passou a ser uma obrigação de toda a empresa, configurando o núcleo do sucesso ou do fracasso da organização; 2) O TPM também é de interesse da produção do etanol na medida em que atua na maximização da eficiência dos equipamentos, estabelece um sistema de manutenção levando em conta a vida útil do equipamento, estabelece foco intenso no diagnóstico antecipado de falhas no processo e integra as pessoas que planejam, utilizam e mantêm os equipamentos com vistas ao aumento da confiabilidade e disponibilidade durante o período de fabricação; 3) a parceria mais estreita com os fornecedores, por sua vez, pode significar maior colaboração entre as partes, melhor planejamento do fornecimento de matérias-primas e adaptação mútua às necessidades dos parceiros; 4) o apoio à força de trabalho preconizado pelo JIT faz-se interessante na medida em que fomenta o orgulho e a satisfação com os resultados com o próprio trabalho, um caminho que se trilha por meio do

aprendizado, da capacitação, da eliminação do medo, e por meio do reconhecimento pelos esforços e realizações; 5) o incremento da comunicação interna para o JIT significa dar mais atenção à comunicação horizontalizada e ascendente, fomentando uma realimentação de informações entre os funcionários internos e entre estes e a chefia, encorajando os gerentes a permitir que os funcionários assumam maiores responsabilidades; 6) por fim, melhorar e comunicação externa é ingrediente para maior confiança entre a fábrica e seus fornecedores, fundamental para minimizar os conflitos potenciais entre as partes e para fomentar uma relação duradoura.

Em síntese, apesar de o requisito mais marcante do Sistema JIT, a fabricação no ritmo da “puxada do cliente” não ser possível na fabricação do etanol dadas as características peculiares da principal matéria-prima, concluímos que o JIT é aplicável ao sistema produtivo de etanol e pode trazer benefícios reais às empresas que o adotarem.

REFERÊNCIAS

ABDULMALEK, F. A.; RAJGOPAL, J; NEEDY, K. L. A classification scheme for the process industry to guide the implementation of lean. **Engineering Management Journal**, v.18, n.2, p.15-25, 2006.

AGRAWAL, N. Review on just in time techniques in manufacturing systems. **Advances in Production Engineering & Management**, v.5, n.2, p. 101-110, 2010.

AL-TAHAT, M. D.; MUKATTASH, A. M. Design and analysis of production control scheme for kanban-based JIT environment. **Journal of the Franklin Institute**, v.343, n.4-5, p.521-553, 2006.

Bamber, C., Sharp, J.; Hides, M. Developing management systems towards integrated manufacturing: a case study perspective. **Integrated Manufacturing Systems**, v.11, n.7, p.454-461, 2000.

BILLESBACH, T. J. Applying lean production principles to a process facility. *Production and Inventory Management Journal*, Third quarter, p.40-44, 1990.

BOVI, R.; SERRA, G. E. Folhas verdes, folhas secas, fibra do colmo e a clarificação do caldo de cana-de-açúcar. **Scientia Agriola**, v. 58, n. 3, p. 457-463, 2001.
BROWN, S.; LAMMING, R.; BESSANT, J.; JONES, P. **Administração da produção e operações**: um enfoque estratégico na manufatura e nos serviços. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

CHANDRA, S; KODALI, R. Justification of just-in-time manufacturing systems for Indian industries. **Integrated Manufacturing Systems**, v.9, n.5, p314–323, 1998.

CHONG, H., WHITE, R.; PRYBUTOK, V. Relationship among organizational support, JIT implementation, and performance. **Industrial Management & Data Systems**, v.101, n.6, p.273-81, 2001.

CONSECANA - CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de instruções**. Piracicaba, 2006.

COOK, R. L.; ROGOWSKI, R. A. Applying JIT principles to continuous process manufacturing supply chains. **Production and Inventory Management Journal**, Third quarter, p.12-16, 1990.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações**. São Paulo: Atlas, 2004.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos da administração da produção**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DIAS, M. O. S. **Simulação do processo de etanol a partir do açúcar e do bagaço, visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço**. 2008. 282p. Dissertação (Mestrado em Eng. Química). Faculdade de Eng. Química, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

GOLHAR, D. Y.; STAMM, C. L. The just-in-time philosophy: A literature review, **International Journal of Production Research**, v. 29, n.4, p.657–676, 1991.

KIMURA, O.; TERADA, H. Design and analysis of pull system, a method of multi-stage production control, **International Journal Production Research**, v.19, n.3, p.241-253, 1981.

KONDO, Y. Quality is the center of integrated management. **Management Auditing Journal**, v.17, n.6, p.298-303, 2002.

MANTOVANELI, I. C. C. **Modelagem hídrico neuronal de um processo de fermentação alcoólica**. 2005. 165p. Dissertação (Mestrado em Eng. Química). Faculdade de Eng. Química, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

MARAFANTE, L. J. **Tecnologia da fabricação do açúcar e do álcool**. São Paulo: Ícone, 1993.

MARQUES, M. O. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 2001.

MONDEN, Y. **Produção sem estoques**: uma abordagem prática ao sistema de produção da Toyota. São Paulo: IMAM, 1984.

MOULD, G.; KING, M. Just-in-time implementation in the Scottish electronics industry. **Industrial Management and Data Systems**, v.95, n.9, p.17-22, 1995.

OHNO, T. **Toyota production system**: beyond large scale production. New York: Productivity Press, 1988.

RAMARAPU, N., MEHRA, S., FROLICK, N. "A comparative analysis and review of JIT implementation research", *International Journal of Operations & Production Management*, v.15, n.1, p.38-49, 1995.

RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C. Sistemas de colheita. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008.

RIPOLI, T. C. C; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Barros & Marques, 2004.

SHIN, D.; MIN, H. Flexible line balancing practices in a just-in-time environment. **Production and Inventory Management Journal**, v.32, n.4, p.38-41, 1991.

SWANSON, C. A.; LANKFORD W. M. Just-in-time manufacturing. **Business Process Management Journal**, v.4, n.4, p.333-341, 1998.

THENG, P. Overall approach to manufacturing management. **Manufacturing Management**, v.2, n.5, p.31-37, 1993.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-açúcar. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 07 Fev. 2011.

VOKURKA, R. J.; LUMMUS, R. R; KRUMWIEDE, D. Improving Manufacturing Flexibility: The Enduring Value of JIT and TQM. **Sam Advanced Management Journal**, v.72, winter, p.14-21, 2007.

WAFI, M. A.; YASIN, M. M. A conceptual framework for effective implementation of JIT: an empirical investigation. **International Journal of Operations & Production Management**, v.18, n.11/12, p.1111-1124, 1998.

YASIN, M. M.; WAFI, M. A.; SMALL, M, H. Just-in-time implementation in the public sector: an empirical examination. **International Journal of Operations & Production Management**, v.21, n.9, p.1195-1204, 2001.



Artigo recebido em 22/03/2011 e aceito para publicação em 28/03/2012.