

MÉTODO PARA SINCRONIZAÇÃO DE PRODUÇÃO POR BATELADA EM EQUIPAMENTOS DE GRANDE PORTE

**Roquemar de Lima Baldam (Pró-Reitoria de PEsquisa e Pós-
Graduação)**

roquemar.baldam@iconenet.com.br

TULLIO ROCIO PITANGA (Campus Cariacica)

tulliorocio@hotmail.com

Lourenço Costa (Campus Cariacica)

lourenco.costa@iconenet.com.br

Thalmo de Paiva Coelho Junior (-----)

thalmo@ifes.edu.br



É apresentado um método para a sincronização de produção por batelada em equipamentos de grande porte, para que não haja parada não programada do recurso gargalo. Através dos conceitos do gerenciamento da produção e operações (Just in Time., produção por bateladas e planejamento, programação e controle de produção), embasamento teórico nesses conceitos e aplicação do método em uma siderúrgica real. Este paper aborda o gerenciamento do sequenciamento de operações em equipamentos de grande porte, dando foco na programação, sequenciamento e controle das ordens de produção. O método trouxe resultados na minimização de work in process, aumento de produtividade (de 50 para 52 corridas de aço por dia), aumento significativo na receita e redução dos gastos com energia na produção. Além do sucesso da aplicação do método como sincronizador. O método foi aplicado diretamente em uma siderurgia com presença de equipamentos de grande porte e pode não ter o mesmo sucesso de aplicação em outro segmento produtivo. Estudos sobre método de sincronização em sistemas de produção contínuo, discreto ou outros são sugeridos como futuras pesquisas. Além de pesquisa sobre gargalos dinâmicos, uma vez que na aplicação do método o gargalo era estável e se apresentava no final da linha de produção. Com a implantação de um sincronismo eficiente entre os recursos produtivos ganho de produtividade e econômicos são identificados. Por isso, este paper impacta diretamente no rendimento financeiro da companhia, uma vez que contribui na receita final devido a redução nos gastos de energia com retrabalhos. A siderúrgica onde o método foi aplicado é conhecida como a mais eficiente do ramo, e visando melhorar a sincronização entre os recursos da linha de produção, não encontrou nenhum método que se encaixasse nos seus problemas de programação e sincronização dos recursos e ordens de produção. O presente método foi a solução encontrada

Palavras-chave: produtividade; sincronização da produção; programação da produção; produção por batelada.

1. Introdução

Linhas de produção nem sempre são compostas por máquinas ou recursos totalmente sincronizados em relação a tempo e quantidade de produção, ou seja, sempre haverá algo que faz a produção entrar em descompasso. Isso pode ser entendido como uma operação que necessita de mais cuidado, um recurso que apresenta um setup muito demorado, ou uma máquina que precisa estar em operação contínua. Assim, o causador desse descompasso, mais conhecido como gargalo, é quem dita o ritmo da produção do chão de fábrica.

Entretanto, o problema pode não ser o gargalo, propriamente dito, mas sim o que ele pode trazer de prejuízos à produção, e conseqüentemente, ao faturamento da empresa. Ou seja, devem ser tomadas decisões para garantir que o gargalo não trará tais prejuízos ou possíveis riscos. Como é praticamente impossível evitar essa situação, é preciso saber controlar esses pontos da linha de produção, primeiramente, identificando esse ponto, ou pontos, e então criando ações para reduzir o impacto que pode ser causado. Além disso, o gargalo é a fonte de interferência em qualquer tentativa de melhorar a produtividade e o rendimento. Eliminando os gargalos em qualquer operação, melhoras substanciais serão seguidas automaticamente (Pegels e Watrous, 2005).

Além disso, o aumento da pressão sobre as indústrias em fornecer melhor e mais rápido seus produtos têm encorajado por muitos anos as companhias a tomarem ações para melhorar sua competitividade. Essa pressão deriva do aumento da exigência do mercado, ou seja, os clientes estão se tornando cada vez maiores e, com isso, a demanda por produtos com alta qualidade e preços mais baixos aumentam. Assim sendo, a tarefa mais importante para a indústria é o planejamento e programação da produção (Rudberg e Cederborg, 2011). Entretanto, na prática muitas empresas tendem a implantar algum software padrão normalmente em uso no mercado, além disso, há um não reconhecimento que as universidades dão a esse tipo de sistema (Wiers, 2002; Wiers, 2009; Lin, Hwang e Wang, 2007; McKay and Wiers, 2003). Outro ponto é o fato desse tipo de soluções está sendo usado no ambiente tático, além disso, há poucos estudos dando apoio em como o planejamento e programação da produção (APS) ajudam em casos específicos ou em certos segmentos da indústria (Gruat La Forme et al, 2009; Kjellsdotter e Jonsson, 2010).

Por isso, esse artigo visa mostrar a importância da implantação de um método de sincronização nas indústrias que usam o sistema de produção por batelada, respondendo as seguintes perguntas de pesquisa (PP):

PP1. Como sincronizar uma linha de produção por batelada que usa equipamentos de grande porte para que não haja perdas por paradas não programadas?

PP2. Quais benefícios o método de sincronização entre recursos pode aumentar a produtividade da linha de produção e o faturamento da empresa?

Verificando, assim, qual o efeito que foi gerado no sincronismo da linha de produção, comparando o sequenciamento das operações, com e sem aplicação do método. Vale lembrar que na linha de produção onde o método será aplicado, os gargalos são duas Máquinas de Lingotamento Contínuo (MLC). A identificação desse recurso como o que dar o ritmo à produção, foi devido ao alto prejuízo financeiro que pode trazer caso ocorra uma parada indesejada. Isso pode ser melhor explicado pela perda das propriedades do aço, caso tenha que esperar mais que o possível para ser processado no MLC. Se ocorrer, deve retornar todo o aço “perdido” para o início da linha de produção, ou seja, havendo retrabalho e gasto de energia. Além do grande pulmão existente por não ter confiabilidade no sincronismo entre os recursos antecedentes ao MLC.

O método foi aplicado em uma siderúrgica brasileira necessitava acabar com a perda de produtividade na produção de placas de aço, acarretada pela falta de sincronismo entre as operações, nas duas linhas de produção. Onde uma linha é composta de um convertedor, uma máquina de tratamento secundário e um MLC. Assim sendo, era necessário criar um método que sincronizasse as ordens de produção com os recursos disponíveis da melhor forma, respeitando as restrições da produção e os parâmetros de cada corrida de aço, entende-se como corrida de aço uma batelada de produção. Com isso, foi verificado que o método realmente funcionou.

2. Referencial

Os sistemas de produção podem ser identificados como qualquer um dos quatro principais tipos de ambientes fabris: produção por ordem complexa de clientes, configuração de ordens de produtos, produção por bateladas de produtos padronizados e produção em massa/repetitivo (Jonsson e Mattsson, 2003). Esses mesmos autores concluíram que a proporção de usuários satisfeitos com a produção por bateladas de produtos padronizados é significativamente maior e a insatisfação é significativamente menor quando comparado a usuários de outros ambientes fabris. Para atingir esse índice de satisfação, um bom método de programação e sequenciamento é essencial para lidar com as mudanças de demanda do mercado, e isso é causado, na maioria das fábricas pela chegada irregular de ordens, variedade

de produtos requisitados e diferentes datas de entregas (Chan e Hui, 2011). Porém, vale ressaltar que a divisão de lotes para a produção por batelada não deve ser em lotes tão pequenos, mas em lotes que vão fazer os custos diminuírem, haja visto que, quanto maior a divisão maior o custo com gerenciamento do mesmo (Yan e Zhang, 2007). Assim sendo, se torna notório algumas vantagens do processo de produção por bateladas, um facilitador na comparação de custos entre lotes (Schaber et al, 2001), com tamanhos de lotes menores o work-in-process se reduz consideravelmente e, também, a redução média do tempo de espera (Kadipasaoglu, Xiang e Khumawala, 1999). Esse sistema de produção também apresenta vantagem sobre a produção contínua, pois permite a verificação da qualidade de cada lote antes dos demais processamentos, enquanto que no sistema contínuo um “lote” não é tratado do mesmo jeito (Leuenberger, 2001; Vervaet e Remon, 2005).

2.1. Just in time como método eficaz

Como um método de sincronização entre equipamentos de grande porte e gargalo, não pode ser deixado de lado a “pronta entrega” entre esses recursos. Por isso, uma grande importância foi dada à produção Just in Time (JIT), que como filosofia e método de produção tem recebido mais atenção desde a sua introdução à décadas atrás, pois procura minimizar a necessidade de material, work-in-process e a qualidade final do produto, por redução dos setups, coordenando as entregas desde os fornecedores, o balanceamento da capacidade produtiva respeitando os limites de cada um e acima de tudo mantendo contínuo compromisso para alcançar o maior nível de qualidade em todas as etapas do negócio (Gyampah e Gargeya, 2001). O uso do JIT tem sido transformado nas últimas duas décadas pela adoção de um número de técnicas das fábricas japonesas, e a mais compreensiva dessas mudanças é encontrado no conceito Lean de produção, pelo o qual tem uma ampla visão da produção e distribuição do produto, desenvolvendo um conceito de produção que sincroniza toda a cadeia de produção, desde o desenvolvimento do produto até a distribuição final ao cliente, outra vantagem é que a compra e a produção podem ser feitas em pequena escala e não mais cedo que o necessário (Cooney, 2002; Mould e King, 1995; Petersen, 2002).

Através de entrevista com gerentes seniors de várias companhias, apenas uma não pensou em JIT como eliminação de desperdício e sim como um senso comum de gerenciamento. Apenas duas companhias viram JIT, primeiramente, como significado de redução de inventários. Uma companhia manteve considerável número de inventários, mesmo usando sistema JIT. Metade das empresas considerou o Just-In-Time como uma ferramenta;

duas dessas viram como aumento na responsabilidade do cliente e os outros como aumento de competitividade nos custos e na qualidade. Outras razões oferecidas para implantar o JIT foram: permitir flexibilidade, minimizar o uso do espaço, aumentar os rendimentos e reduzir o tempo de ciclo (Mould e King, 1995). Desde modo, o Just inTime não é um novo conceito, mas um atrativo e adequado modelo ou nome que tem ganhado aceitação em todo o mundo (Svensson, 2001).

2.2. Planejamento e programação avançado da produção

Um dos grandes benefícios do método criado é a garantia de um fluxo contínuo de ordens dos clientes, respeitando os parâmetros da produção e os recursos em questão. Isso é mostrado pela necessidade de uma programação eficiente, e é o principal motivo do aumento de eficiência do chão de fábrica no que diz respeito à qualidade do produto, flexibilidade e fluxo de ordens (Stoop e Wiers, 1996). Os gerentes precisam dar apoio ao planejamento e programação avançado da produção, isso é devido a grande importância dessa área na maioria das indústrias. Muitos trabalhos desenvolvidos em relação a isso mostram dedicados algoritmos para específicas situações de companhias diversas ou parte de um processo de produção (Rudberg e Cederborg, 2011). Porém, esse tipo de ferramenta é ainda novo e pouco explorado, apesar de ter sido mostrada nas últimas décadas (McKay e Wiers, 2003; Stoop e Wiers, 1996). Além disso, vale ressaltar que alguns autores dizem que o resultado do processo de programação é influenciado pelos aspectos humanos, tecnológicos e organizacionais, entretanto, outros indicam, entre os já citados, que os problemas são indicados pela má definição, complexidade e dinamicidade do planejamento da produção (MacCarthy, Wilson e Crawford, 2001; Lin, Hwang e Wang, 2007).

Além disso, o processo de planejamento e programação são as duas funções mais importantes envolvidas no processo produtivo e eles estão, atualmente, interrelacionados. A interação é essencial para melhorar a flexibilidade da programação e alcançar uma melhora global na performance de uma fábrica, entretanto, a aplicação da teoria do planejamento e programação avançado da produção nas indústrias é rara (Lihong e Shengping, 2012; McKay e Wiers, 1999). Para diferenciar, o processo de planejamento é a atividade que leva o modelo requerido para a descrição detalhada de instruções para transformar o insumo em um produto que satisfaça o modelo requerido. Já a programação é o processo que atribui, ao longo do tempo, as operações do processo planejado, e determina o tempo para executar cada operação, considerando as relações sequenciais entre operações, capacidade e limitações dos recursos

em uso (Altarazi, 2011). Além disso, o planejamento é, normalmente, interessado ao alto nível de decisões como “o que” e “onde” produzir, visando longos horizontes através do objetivo econômico e a maximização dos lucros, enquanto a programação é interessada a um nível menor, “como” fazer o sequenciamento e visa o curto prazo, através de um viável objetivo (Munawar e Gudi, 2005).

Desde modo, o planejamento e a programação têm mostrado ser significantes desafios em empresas com máquinas-ferramenta, que querem atender várias demandas de diferentes clientes e fazer todo o uso dos recursos existentes, simultaneamente. Isso está fortemente ligado com a lucratividade dos produtos fabricados, utilização dos recursos e o tempo de entrega do produto (Liu et al, 2011; Jain, Jain e Singh, 2006).

3. Metodologia

Para a criação do referencial teórico foi usado papers de diversos jornais internacionais, onde 97,2% tem fator de impacto, apenas uma referência não apresenta essa classificação, além disso, todos em inglês. Livros, teses de doutorados, papers sem relevância internacional não foram usados para compor o embasamento teórico deste trabalho, bem como, papers de palestras, encontros ou conferências da área. Esse tipo de seleção de bases já foi usado antes (Mayano-Fuentes e Sacristán-Diáz, 2012). Além disso, as referências são todas relacionadas ao gerenciamento da produção, como operações, gargalos e recursos em geral, minimização de work in process (WIP), entre outros da mesma área.

Para a identificação do problema foram coletados dados, tanto dos convertedores quanto dos refinados secundário e o lingotamento, para ter a relação entre os tempos reais de operação e o tempo programado para tais operações. Fazendo um gráfico de colunas para os convertedores e gráficos de correlação para o refino secundário e as MLC's, foi observado que realmente há uma grande diferença entre o real e o ideal. Uma vez criada o embasamento teórico e com os conhecimentos adquiridos, tanto com as referências quanto com a experiência na área, foi iniciado o desenvolvimento do método para responder as PP's. Vale ressaltar que essa foi a etapa mais difícil e levou cerca de um ano, desde a inicialização até a aplicação e validação, para então poder analisar os resultados e responder as PP's.

Será aplicado um método para gerar sincronismo em uma linha de produção de uma siderúrgica, onde estão presentes máquinas de grande porte que podem trazer enormes prejuízos caso parada por falta de planejamento e programação da produção. Tendo isso em vista, em uma planta de produção de placas de aço, a programação das operações na Máquina

de Lingotamento Contínuo (MLC) é a mais importante do processo, uma vez que na maioria das vezes, a MLC é o gargalo da linha de produção desse tipo (Tang et al, 2002).

Assim sendo, alguns autores trabalharam em cima de soluções ótimas para o planejamento e a programação da produção de aço, a fim de melhorar a produtividade das máquinas, reduzir a quantidade de material e energia consumida, além de reduzir o custo de produção. O resultado dessa solução ótima trouxe várias vantagens incluindo o aumento dos lucros, economia na produção e satisfação dos clientes (Li et al, 2012). Entretanto, a integração efetiva do planejamento e da programação da produção tem provado serem difíceis, devido as diferentes escalas de tempo das operações e também pela natureza combinatória, restrições práticas complexas, requisitos rigorosos na continuidade do material e fluxo de tempo, além de tecnologias requeridas para assegurar a prática viável do resultado programação (Verderame e Floudas, 2010; Li et al, 2012).

4. Resultados

4.1. Análise do processo e identificação do problema

A empresa onde o método foi aplicado produz atualmente 7,5 milhões de toneladas por ano de placas de aço. Devido a esse grande volume de produção para gerenciar e controlar e, se tratando de um segmento onde um pequeno erro pode trazer enormes prejuízos, uma coleta de dados de tempos de operações dos recursos que compõe a aciaria (real x ideal programado) foi feita para a verificação da eficiência da produção. Assim, foi feita a análise da situação atual do sincronismo e verificado a necessidade de um melhor método para a sincronização. Sendo verificado também que por causa dessa falta de sincronismo, o sequenciamento era feito sem levar em consideração a disponibilidade de ferro-gusa real.

O processo geral começa com a adição das matérias prima (coque, sinter, minérios, carvão, fundentes e outros) nos alto-fornos, onde ficam por certo tempo até serem transformadas em ferro-gusa, em seguida o carro-torpedo leva o gusa até os dessulfuradores que tiram todo o enxofre e é então despejado nos convertedores, onde o ferro-gusa é transformado em aço. Essa etapa descrita não fará parte do estudo por não apresentar problemas com a sincronização como a etapa seguinte. Para mostrar a complexidade dessa segunda etapa do processo da produção, também chamado de corrida de aço, figura 1, o lote de ferro-gusa dessulfurado é despejado em um dos convertedores e encaminhado para uma das unidades de refino (IRUT ou RH) ou, pode também, ser encaminhada diretamente para uma das máquinas de lingotamento contínuo (MLC). Após o processo de refino, o lote é então

encaminhado para uma MLC, alimentada por uma torre de 350 toneladas de capacidades, para que o aço líquido passe pelo processo de conformação e sejam então produzidas as placas. Vale lembrar também que, existem casos em que uma corrida tem seu processo de lingotamento interrompido, sendo necessário seu retorno para uma das estações de refino, gerando com isto um “contra-fluxo”. Isso faz com que gere um retrabalho e mais gastos desnecessários com a produção. E, além disso, certas bateladas tem que ser lingotadas, obrigatoriamente, em certa MLC, restringindo o processo. Tendo esses pontos como primordiais, todo o sincronismo é feito obedecendo aos tempos em que as torres podem atender as MLC's, pois caso esse tempo seja informado errado ou não cumpra com o tempo da programação, pode haver um contra-fluxo ou perda do lote devido a espera.

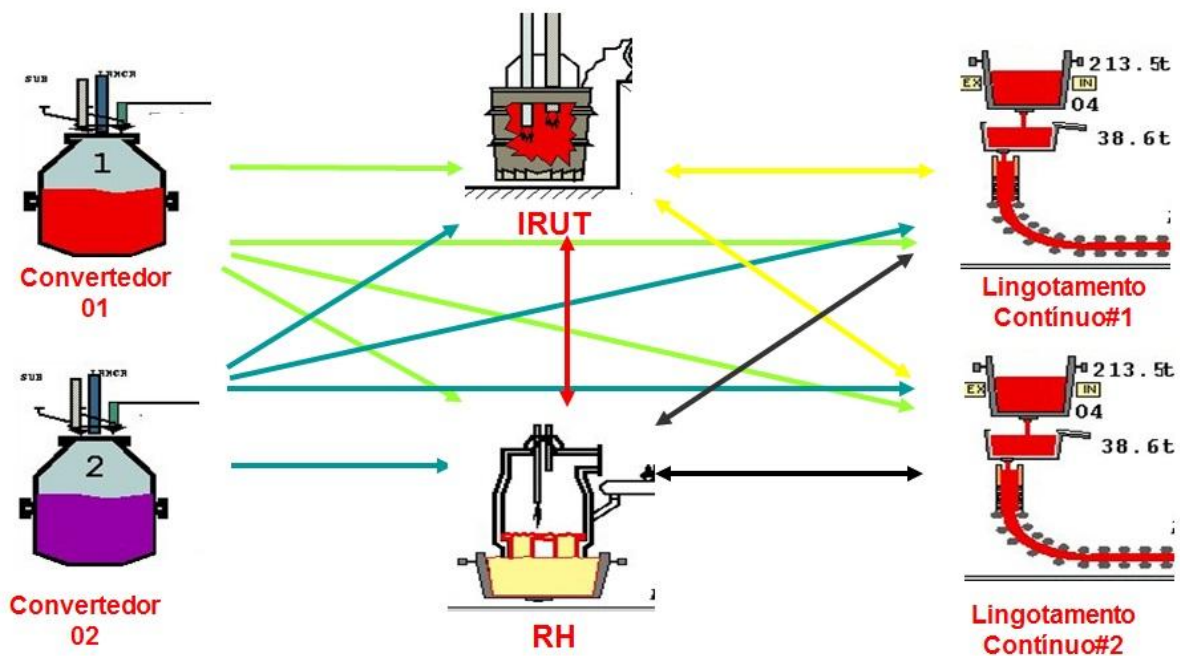


FIGURA 1 - Complexidade do processo de produção.

Por isso, o principal problema são os atrasos na alimentação dos MLC's, pois um atraso de 5 minutos no reabastecimento da MLC pode significar uma hora de interrupção na produção, além disso, cada torre cheia de aço representa 200 mil dólares de receita. Ou seja, caso uma torre espere mais que o tempo necessário e haja perda do aço, é necessário parar a produção e retirar o aço antes de ser lingotado, podendo haver a perda desses 200 mil dólares. Outro problema, a alimentação da torre com muita antecedência pode representar um custo adicional com energia para manter as propriedades e temperatura do aço enquanto espera para ser descarregado na MLC.

Tendo isso em vista, após estudar as possíveis causas do insucesso do sincronismo, foram feitas as análises abaixo, tomando os tempos da programação e os efetivamente

realizados pelos recursos. Tanto nos convertedores, como no tratamento secundário e nas MLC's, foram observados desvios entre os tempos programados e o tempo real obtido. Na figura 2, para os convertedores que são responsáveis por adicionar carbono ao ferro-gusa, foi detectada uma média de 23 minutos do tempo total de operação, porém, o tempo de programação ideal era de 18 minutos. A linha vermelha representa esse tempo ideal da operação.

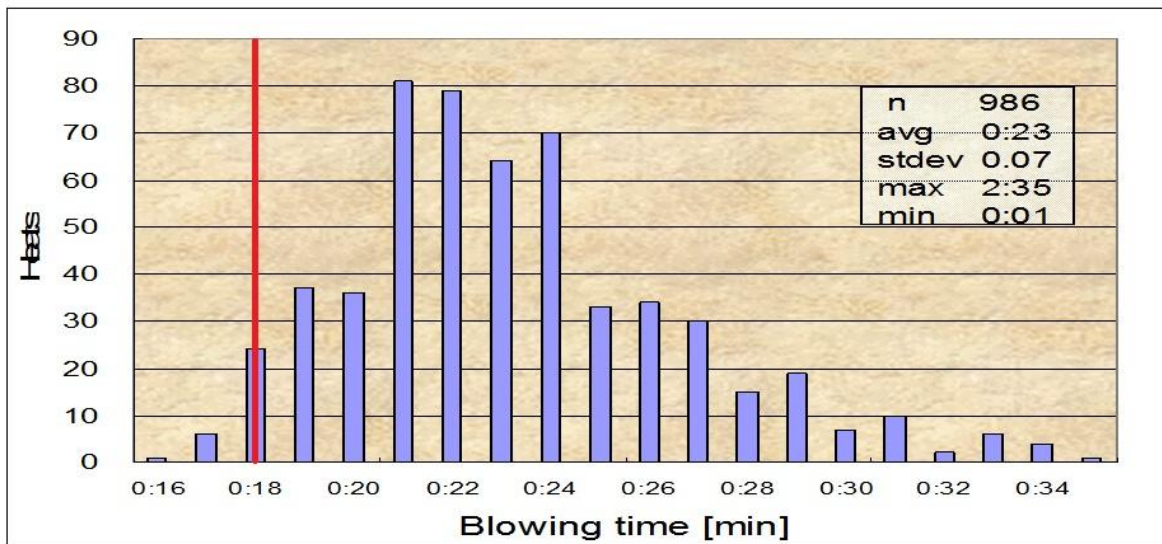


FIGURA 2 - Resultado da operação dos convertedores.

Já nas estações de refino secundário e nas MLC's, pela análise de correlação também é verificado os desvios dos dados. Veja nas figuras 3 e 4, que os pontos azuis não se encontram na linha vermelha, onde representaria igualdade entre os tempos programados e reais. Os pontos estão, ora abaixo do programado, ora acima.

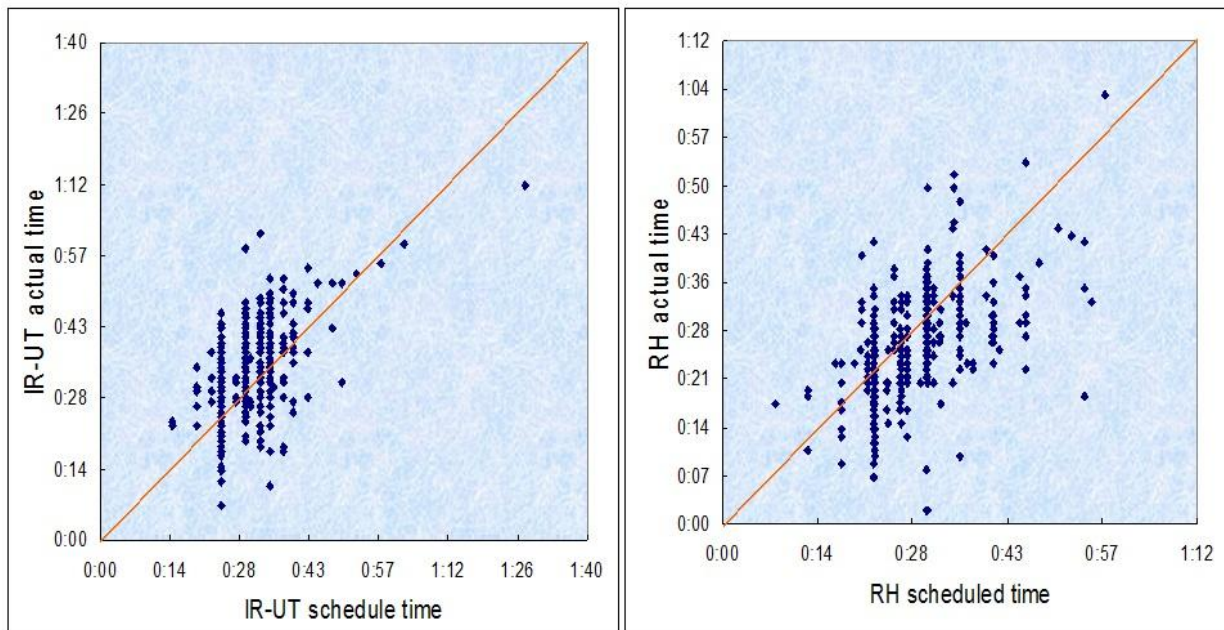


FIGURA 3 - Resultado das operações de refino secundário.

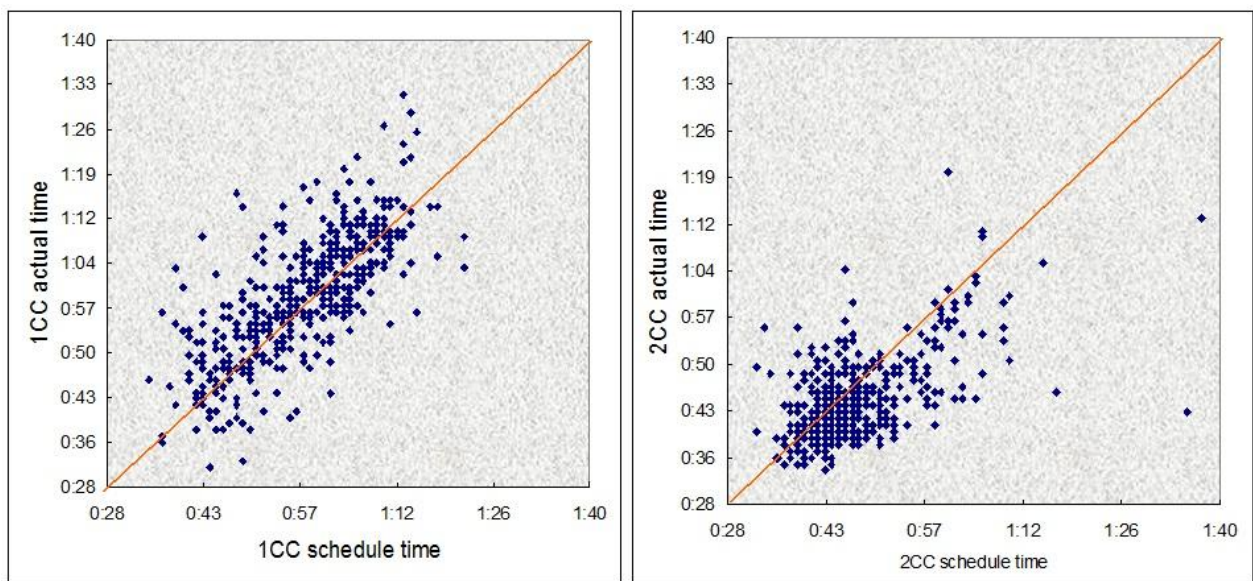


FIGURA 4 - Resultado das operações do lingotamento contínuo.

Após a investigação das possíveis causas do erro de sincronização, chegou-se a conclusão que esses desvios entre tempo real e tempo programado eram o principal indicador do insucesso da sincronização. Assim, verificou-se a necessidade da criação de um método para a sincronização das operações entre os recursos.

4.2. O método para sincronização

O método para a sincronização das linhas produtivas leva em consideração vários parâmetros, regras e estratégias de produção, usando as demandas como a entrada dos requisitos para a programação. Alguns parâmetros são fixados, enquanto outros podem ser modificados, como por exemplo, a velocidade a produção do aço pode ser modificada pela disponibilidade do ferro-gusa.

Assim sendo, o método foi dividido em duas partes com seus devidos fluxogramas de regras e, como o gargalo da aplicação em questão é o último recurso da linha, o método foi feito de trás para frente, atendendo primeiramente as MLC's. E então, de acordo com os tempos e horas das ordens programadas na máquina de lingotamento fazer a programação das antecedentes, centros de refino secundário e convertedores, tendo em vista os tempos de atendimento das torres para as MLC's.

4.2.1. Passo I

O passo um da regra, figura 5, tem como objetivo geral identificar os parâmetros das ordens de produção e organizá-las de acordo com a prioridade de qual ordem será programada primeira e em qual MLC. Esse passo visa à programação para frente, ou seja, da data atual até o futuro mais próximo.

Assim sendo, primeiramente o método lê os parâmetros (que horas a torre poderá atender a MLC, quantas ordens serão programadas, etc), em seguida define quais ordens serão programadas em quais MLC's de acordo com a prioridade das ordens (first in first out, especificidade do aço, etc). Feito isso, será testada a primeira operação de cada ordem nos respectivos MLC's, identificando o possível início da operação antecedente (refino secundário).

Após a identificação desses parâmetros e prioridades, e criação das filas, o método irá programar a ordem que pode ser primeiramente programada no refino secundário, levando em conta o tempo informado em que a torre estará disponível e o lead time de cada operação antecedente: refino secundário e convertedor. Ou seja, entre a primeira ordem de cada fila a ser operada em cada MLC, uma terá um início mais cedo que as outras no tratamento secundário.

Feito isso, será verificado se o tempo de torre informado realmente atenderá o início da operação. Caso não atenda, será verificado se o MLC é obrigatório para essa ordem, isso é informado como parâmetro. Se sim, as ordens anteriores e as atuais serão desprogramadas e programadas novamente, trocando os MLC's para atender a obrigatoriedade.

Com todas as primeiras ordens programadas, agora serão programadas as ordens seguintes de cada fila de cada MLC. Ajustando o tempo do refino secundário de modo a atender o tempo da torre. Caso o tempo não atenda a torre, um pulmão (falar mais do pulmão, folga mínima e dos tempos de transporte) será consumido para que não haja o chamado "quebra de máquina, ou seja, quando há um intervalo entre uma operação e outra no mesmo MLC, podendo causar uma parada indesejada do MLC e conseqüentemente trazendo prejuízos já citados.

Com esse passo, espera-se ter todas as operações programadas nos centros de refino secundário de modo a atender o tempo de torre, que conseqüentemente irá alimentar cada máquina de lingotamento contínuo, dando continuidade à produção.

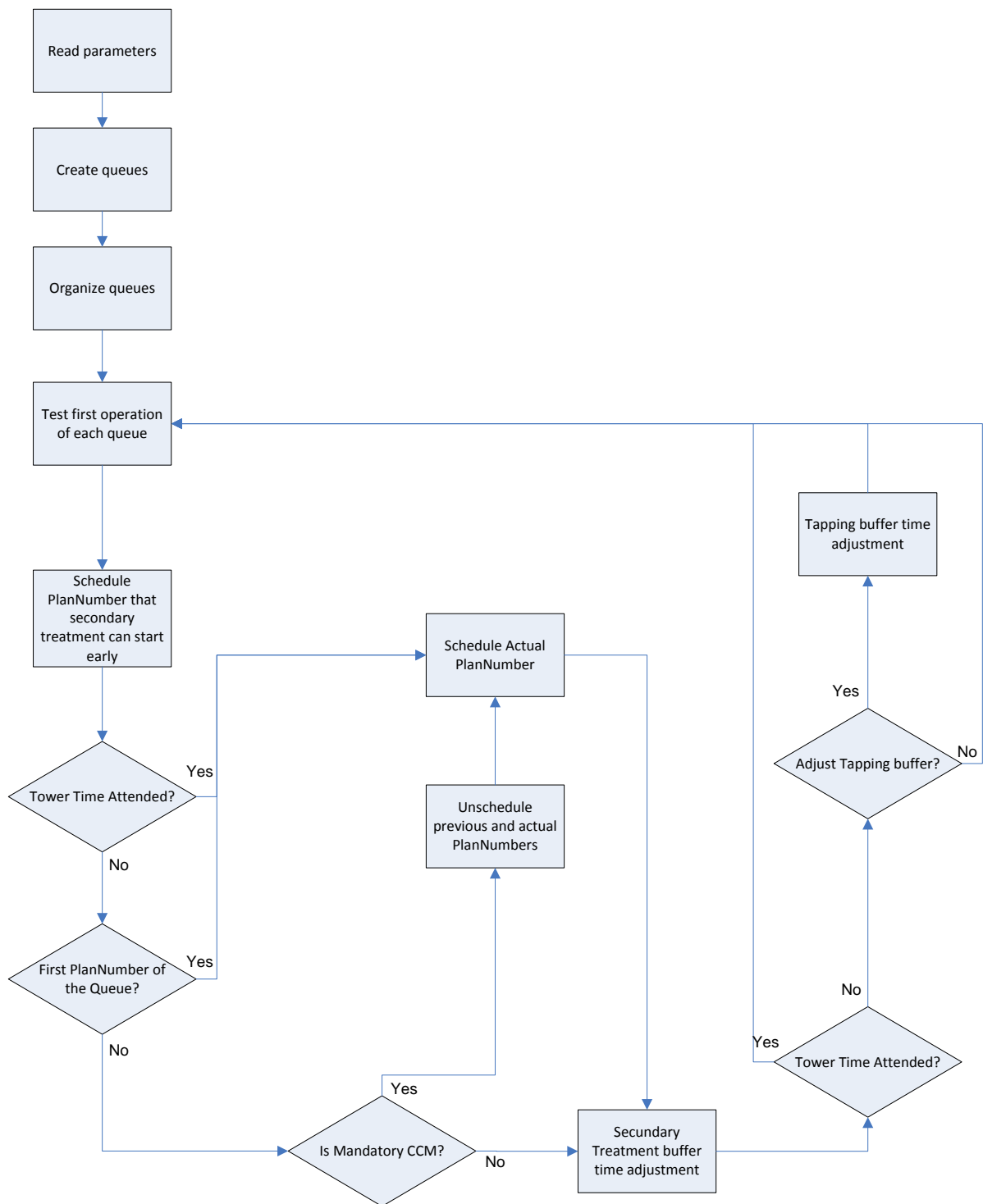


FIGURA 5 - Fluxo de regra do passo I do método.

4.2.2. Passo II

O passo II do método, figura 6, tem como principal objetivo sequenciar as operações nos convertedores, de modo a torná-las sincronizadas com o refino secundário e, conseqüentemente, com o lingotamento. Vale lembrar que esse passo visa à programação para

trás, ou seja, de uma data fixada no futuro (no caso as operações já programadas nos MLC's) até a data mais presente possível.

Assim sendo, ela começa com a identificação da próxima operação a ser programada, agora chamada de “operação atual”. Essa operação será aquela que deve estar em sincronismo com a primeira operação já programada na MLC, e assim sucessivamente. Para garantir isso, deve ser verificado se existe operação no tempo mais tarde de programação ou depois. O “tempo mais tarde de programação” é o limite para o início da programação da operação, de modo a não ter work in process entre operações subsequentes. Antes de carregar uma operação no seu tempo mais tarde de programação, a regra de programação tem que verificar se outra operação já foi programada nesse tempo.

Quando outra operação está alocada no tempo mais tarde de programação, a próxima etapa é verificar se a mesma é de manutenção ou não, uma vez que o tratamento para cada caso será diferente. Se nenhuma operação foi encontrada, deve ser verificado se há operação depois desse tempo, uma vez que essa operação programada pode reter o sequenciamento da operação atual.

Assim sendo, antes de programar uma operação, a restrição de sopro deve ser verificado, o que significa que o tempo da operação será somado ao tempo de sopro, e isso deve ser feito antes do tempo mais tarde de programação. Se existe restrição de sopro de outra operação, essa operação será identificada e terá seu tempo mais tarde de programação diminuído de um minuto, para então, ser programada. Se não há essa restrição, a atual operação deve ser programada de acordo com conversor selecionado, respeitando seu tempo mais tarde de programação. Entretanto, quando uma operação não pode ser programada em um conversor devido à manutenção, operações já programadas ou não possibilidade de decremente do um minuto, a operação será trocada de conversor.

Vale lembrar que sempre que for detectada manutenção no mesmo tempo de programação de uma operação, será verificado se existe espaço para programar essa operação antes, respeitando o tempo de início mais cedo e o tempo atual. Além disso, o tempo de início mais cedo não pode ser menor que o tempo de início mais tarde.

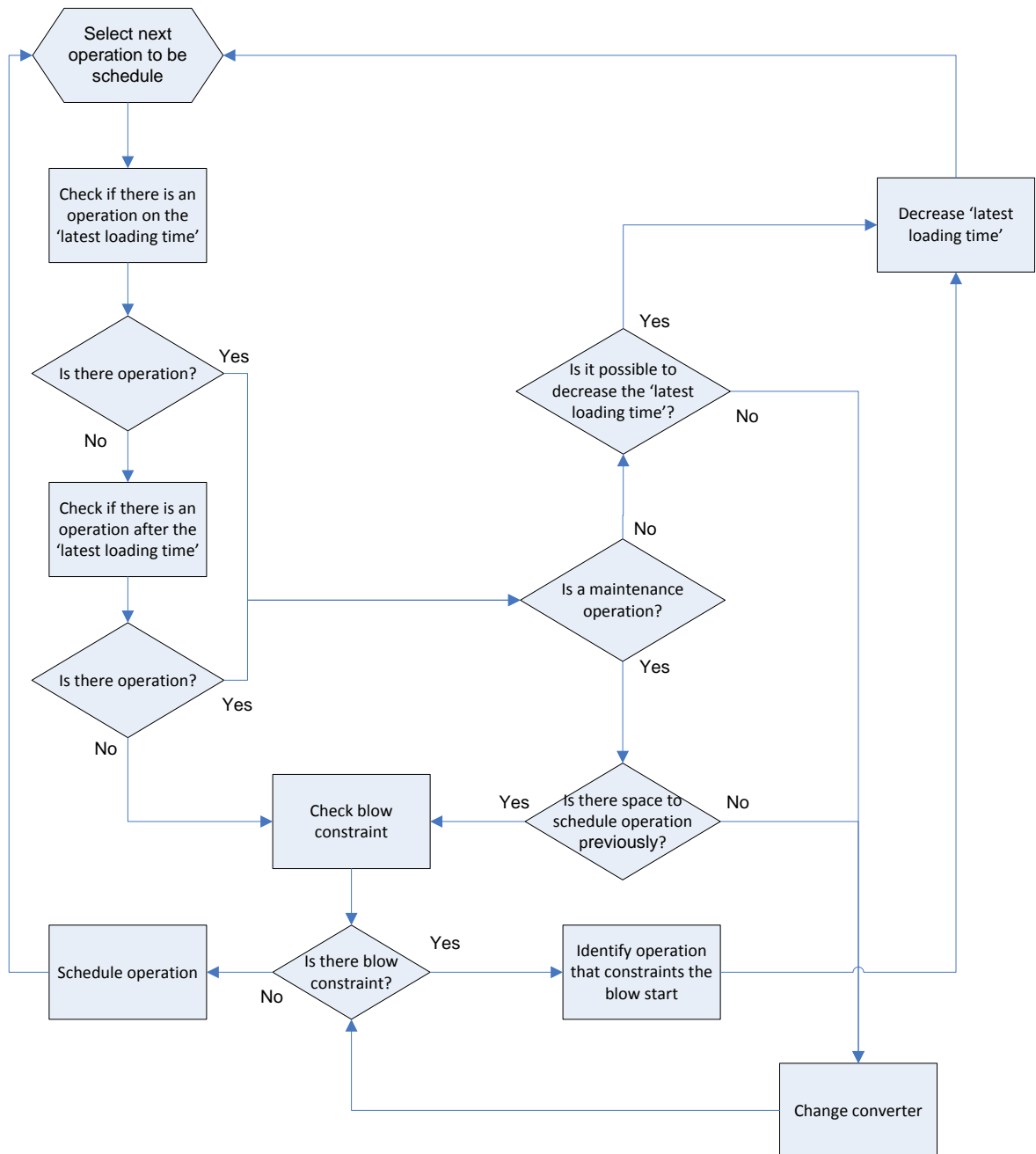


FIGURA 6 - Fluxo de regra do passo II do método.

4.3. Análise do método e discussão

Para a aplicação do método foram criadas duas filas principais: M1 e M2. Cada pedido possui uma sequência na máquina (prioridade MLC). A ordem de produção possui, normalmente, três operações, uma no convertedor, uma no refino e uma no lingotamento. A estratégia é manter sempre o lingotamento sem parada para cada máquina (passo I). Entre

cada operação existe uma folga (tempo de transporte + folga mínima) que deve ser sempre considerada, mesmo na programação para trás (passo II). Assim sendo, o principal objetivo dessa aplicação é de determinar se é possível manter a MLC em uso contínuo. A figura 7 mostra o quadro de programação com as ordens antes da aplicação do método.

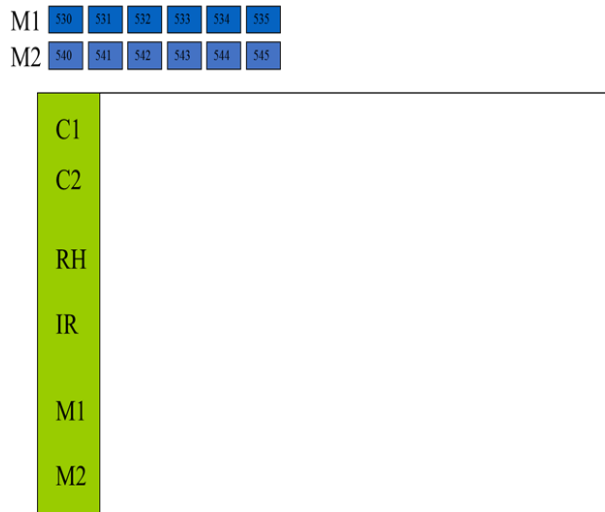


FIGURA 7 - Quadro de programação antes de aplicação do método.

A cada momento a regra deve verificar qual a máquina possui disponibilidade mais cedo. A fila da máquina que apresentar a menor data será escolhida. Mais uma vez garantindo o menor tempo de espera possível e alocando o recurso no momento correto para evitar que um pedido de outra máquina cause problemas de conflito no futuro.

Após o sequenciamento de algumas ordens, foi verificado, figura 8, que o pedido em destaque pela seta vai esperar pela disponibilidade do refino. Em caso de conflito de rota, ou seja, caso algum pedido volte (contra-fluxo) esta espera pode causar parada de máquina.

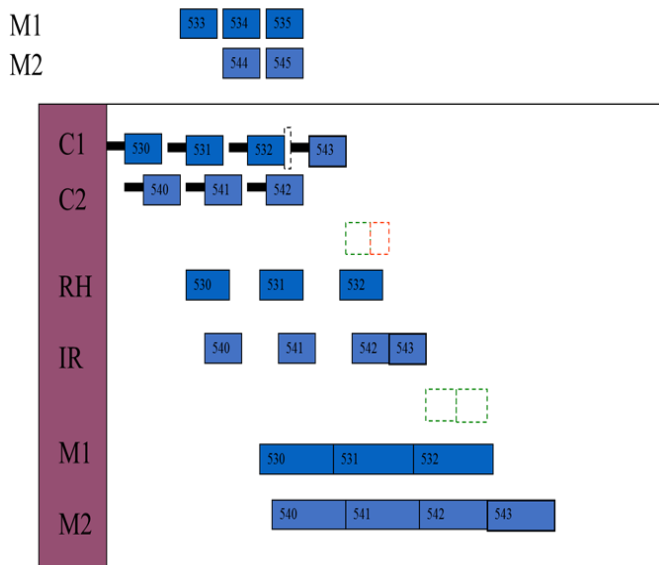


FIGURA 8 - Espera de ordem, podendo causar parada de máquina.

Depois de finalizar a programação para frente com ajuste da operação de refino e o lingotamento contínuo (passo I), a regra deve executar o ajuste do convertedor (passo II), de acordo com a sequencia inversa, ou seja, sequenciamento para trás. Além disso, o sequenciamento deve manter a preocupação com o uso do recurso secundário “sopro, já citado na descrição do método. Assim sendo, a programação sem a aplicação do passo II (figura 9) e após a aplicação (figura 10), estão mostrado abaixo.

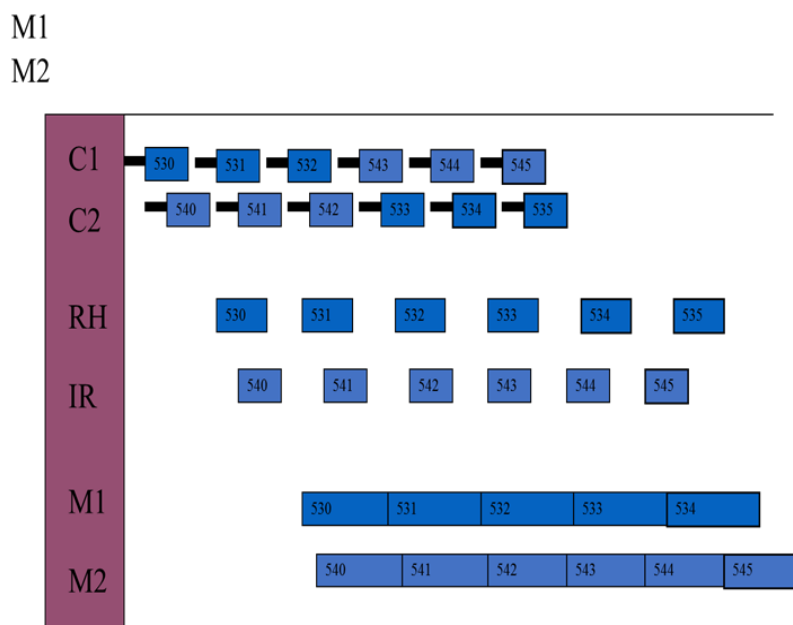


FIGURA 9 - Ordens programadas sem aplicação do passo II.

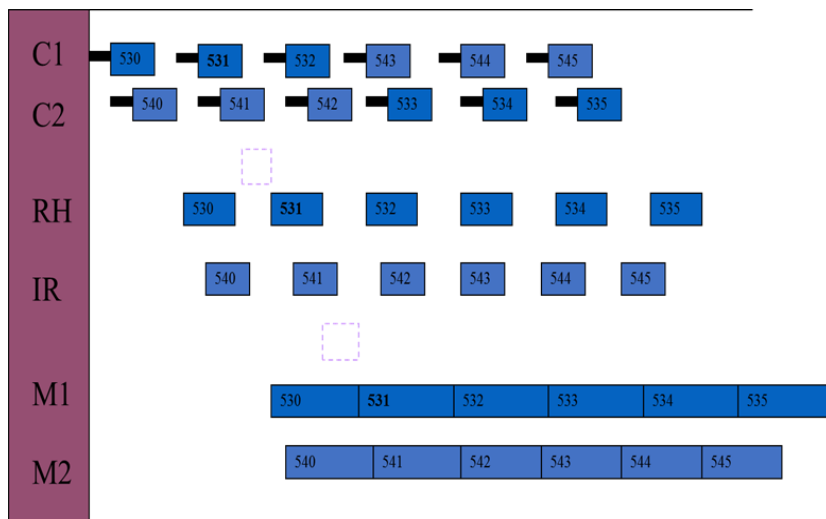


FIGURA 10 - Ordens programadas após aplicação do passo II.

5. Conclusão

Foi apresentada a importância de um planejamento e programação avançado para a produção por batelada, com foco na indústria siderúrgica. Havia visto que há poucos estudos dando apoio em como o APS ajuda em casos específicos ou em certos segmentos da indústria (Gruat La Forme et al, 2009; Kjellsdotter e Jonsson, 2010). Além disso, a aplicabilidade do método pode ser estendida para outros segmentos. Tendo como limitação, apenas, o fato de ser usado em indústrias de produção por batelada onde o gargalo, ou máquina de grande porte, está localizado na última parte do processo produtivo.

Vale ressaltar também que o método alguns benefícios como a minimização de *work in process*, aumento de produtividade (de 50 para 52 corridas de aço por dia), aumento significativo na receita e redução dos gastos com energia na produção. Isso só foi alcançado devido ao sucesso da aplicação da sincronização. O aumento significativo da receita foi devido a diminuição do retrabalho, conseqüentemente, gastos com energia, além de gastos com pulmão.

Referências

- ALTARAZI, S. A. An optimization tool for operational tolerances allocation, work in process inventory minimization, and machines assignment in a discrete part manufacturing environment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55, pp.1069-1078, 2011.
- CHAN, K.; HUI, C. Scheduling Batch Production Using a Stepwise Approach. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42, pp. 3505-3508, 2011.

COONEY, R. Is "lean" a universal production system? Batch production in the automotive industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 22, pp. 1130 – 1147, 2002.

DAVID, F.; PIERREVAL, H.; CAUX, C. Advanced planning and scheduling in aluminium conversion industry, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19, pp. 705-15, 2006.

GRUAT LA FORME, F.A.; BOTTA-GENOULAZ, V.; CAMPAGNE, J.P. The role of APS systems in supply chain management: a theoretical and industrial analysis, *International Journal of Logistics Systems and Management*, 5, pp. 356-74, 2009.

GYAMPAH, K.; GARGEYA, V. B. Just-in-time manufacturing in Ghana. *Industrial Management & Data Systems*, 101, pp. 106 – 113, 2001.

JAIN, A.; JAIN, P. K.; SINGH, I. P. An integrated scheme for process planning and scheduling in FMS. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30, pp.1111-1118, 2006.

JONSSON, P.; MATSSON, S.'The implications of fit between planning environments and manufacturing planning and control methods. *International Journal of Operations & Production Management*, 23, pp. 872 – 900, 2003.

KADIPASAOGLU, S.N.; XIANG, W.; KHUMAWALA, B.M. Batch scheduling in a multistage, multiproduct manufacturing system - an application. *International Journal of Operations & Production Management*, 19, pp. 421-436, 1999.

KJELSDOTTER, L.; JONSSON, P. The potential benefits of advanced planning and scheduling systems in sales and operations planning, *Industrial Management & Data Systems*, 110, pp. 659-681, 2010.

LEUENBERGER, H. New Trends in the Production of Pharmaceutical Granules: Batch versus Continuous Processing. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 52, pp. 289-296, 2001.

LI, J.; XIAO, X.; TANG, Q.; FLOUDAS, C. A. Production Scheduling of a Large-Scale Steelmaking Continuous Casting Process via Unit-Specific Event-Based Continuous-Time Models: Short-Term and Medium-Term Scheduling. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51, pp. 7300-7319, 2012.

LIHONG, Q.; SHENGPING, L. An improved genetic algorithm for integrated process planning and scheduling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58, pp.727-740, 2012.

LIN, C.; HWANG, S.; WANG, E. A reappraisal on advanced planning and scheduling systems. *Industrial Management & Data Systems*, 107, pp. 1212 – 1226, 2007.

LIU, L.; ZHAO, G.; YANG, S.; YANG, Y. Integrating theory of constraints and particle swarm optimization in order planning and scheduling for machine tool production. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 57, pp.285-296, 2011.

MACCARTHY, B.L.; WILSON, J.R.; CRAWFORD, S. Human performance in industrial scheduling: a framework for understanding. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 11, pp. 299-320., 2001.

MCKAY, K. E WIERS, V. Integrated decision support for planning, scheduling, and dispatching tasks in a focused factory. *Computers in Industry*, 50, pp. 5-14, 2003.

MCKAY, K.N. E WIERS, V.C.S. Unifying the theory and practice of production scheduling, *Journal of Manufacturing Systems*, 18, pp. 241-55, 1999.

MOULD, G.; KING, M. Just-in-time implementation in the Scottish electronics industry. *Industrial Management & Data Systems*, 95, pp. 17 – 22, 1995.

MOYANO-FUENTES, J.; SACRISTÁN-DÍAZ, M. Learning on lean: a review of thinking and research,

International Journal of Operations & Production Management, Vol. 32 Iss: 5 pp. 551 – 582, 2012.

MUNAWAR, S. A.; GUDI, R. D. A Multilevel, Control-Theoretic Framework for Integration of Planning, Scheduling, and Rescheduling. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44, pp.4001-4021., 2005.

NEUMANN, K.; SCHWINDT.; TRAUTMANN, N. Advanced production scheduling for batch plants in process industries, *OR Spectrum*, 24, pp. 251-79, 2002.

PEGELS, C.; WATROUS, C. “Application of the theory of constraints to a bottleneck operation in a manufacturing plant, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16, pp. 302 – 311., 2005.

PETERSEN, P. B.’The misplaced origin of just-in-time production methods. *Management Decision*, 40, pp. 82-88, 2002.

RUDBERG, M.; CEDERBORG. APS for tactical planning in a steel processing company. *Industrial Management & Data Systems*, 111, pp. 608 – 628, 2011.

RUDBERG, M.; CEDERBORG, O. APS for tactical planning in a steel processing company, *Industrial Management & Data Systems*, 111, pp. 608 – 628, 2011.

SCHABER, S.D.; GEROGIORGIS, D.I.; RAMACHANDRAN, R.; EVANS, J.M.B.; BARTON, P.L.; TROUT, B.L. Economic Analysis of Integrated Continuous and Batch Pharmaceutical Manufacturing: A Case Study. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50, pp. 10083-10092, 2011.

STOOP, P.; WIERS, V. The complexity of scheduling in practice, *International Journal of Operations & Production Management*, 16, pp. 37 – 53, 1996.

SVENSSON, G.’Just-in-time: the reincarnation of past theory and practice. *Management Decision*, 39, pp. 866-879, 2001.

TANG, L. X.; LIH, P. B.; LIU, J. Y.; FANG, L. Steel-Making Process Scheduling using Lagrangian Relaxation. *International Journal of Production Research*, 40, pp. 55-70, 2002.

VERDERAME, P. M.; FLOUDAS, C. A. Integration of Operational Planning and Medium-Term Scheduling for Large-Scale Industrial Batch Plants under Demand and Processing Time Uncertainty. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 49, pp. 4948-4965, 2010.

VERVAT, C.; REMON, J. P. Continuous Granulation in the Pharmaceutical Industry. *Chemistry Engineering Science*, 60, pp. 3949–3957, 2005.

WIERS, V.C.S. A case study on the integration of APS and ERP in a steel processing plant, *Production Planning & Control*, 13, pp. 552-60, 2002.

WIERS, V.C.S. The relationship between shop floor autonomy and APS implementation success: evidence from two cases, *Production Planning & Control*, 20, pp. 576-85, 2009.

YAN, H.; ZHANG, X. A Case Study on Integrated Production Planning and scheduling in a three stage manufacturing system. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 4, pp. 86-92, 2007.

ZORYK-SCHALLA, A.J.; FRANSOO, J.C.; DE OK, T.G. , “Modeling the planning process in advanced planning systems, *Information & Management*, 42, pp. 75-87, 2004.