O uso da simulação computacional para a determinação da melhor velocidade de lingotamento em uma aciaria

Gilson Soares
soaresgilson@uol.com.br

Aloísio de Castro Gomes Júnior
aloisio.unileste@gmail.com

Isadora Sampaio
isadorasampaio24@hotmail.com

Unileste – Centro Universitário do Leste de Minas Gerais
Avenida Tancredo Neves, 3500 – Bairro Universitário – Coronel Fabriciano/MG

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de simulação sobre o controle de velocidade em máquinas de lingotamento contínuo. O trabalho é desenvolvido em uma importante siderúrgica brasileira. O objetivo da simulação é determinar em qual velocidade será feito o lingotamento, de tal forma que não ocorra formações de filas após a solidificação do aço líquido em placas. As filas normalmente são formadas devido ao processo de transporte da placa até o estoque do setor. Neste trabalho, o estoque foi dividido em três setores e verificou-se qual seria o local ideal para a colocação das placas de acordo com a velocidade de lingotamento. Desta forma, com os resultados obtidos foi possível visualizar e definir em quais níveis de velocidade se opera normalmente ou com geração de filas de placas e, assim, propor novos fluxos operacionais ou melhorias nos equipamentos do processo. A simulação foi feita no *software* de simulação ARENA.

PALAVRAS CHAVE. Simulação, Velocidade de Lingotamento, ARENA.

SIM - Simulação

ABSTRACT

This paper presents a simulation study of the speed control in continuous casting machines. The work is developed in an important Brazilian steelmaker. The purpose of the simulation is to determine at what speed will be done the casting, such that does not queue formations after the solidification of the liquid steel in plates. The queues are usually formed due to transport process of the plate to the inventory sector. In this paper, the stock was divided into three sectors and it was found what would be the ideal location for placement of the plates according to the casting speed. Thus, with the results it was possible to show and define in which speed levels operates normally or generating plates queues and thus propose new operational flows or improvements in process equipment. The simulation was done in simulation software ARENA.

KEYWORDS. Simulation. Casting Speed. ARENA.

SIM - Simulation

1. Introdução

Uma das grandes preocupações do setor produtivo em geral é manter o sincronismo entre suas diferentes atividades de forma a evitar perdas, que ao final possam se transformar em atrasos, prejuízos, perda de qualidade, queda na produtividade e até perda de clientes reduzindo assim sua longevidade sustentável no mercado.

Situações de desvios são fatores sempre presentes no fluxo operacional e o caso em estudo se fundamenta na dificuldade de se manter a operação de despacho de placas no setor siderúrgico quando se tem duas linhas (veios) de uma máquina de lingotamento produzindo em condições normais de velocidade e, cuja produção linear se afunila para um encontro dessas duas linhas (veios) e a partir desse encontro só será possível a sequência de uma placa por vez até atingir perpendicularmente a linha de despacho geral.

Uma condição de sequenciamento automático não atende ao fluxo porque prioriza somente uma das linhas mesmo que as placas estejam sendo produzidas simultaneamente e a partir desta situação desfavorável, é necessária a atuação humana com base em experiências anteriores e que algumas das vezes não se traduz na melhor forma de definição de variáveis sem afetar a linha e consequentemente a qualidade do produto.

Como resultado de reconhecidas interferências geradas a partir da necessidade de tomada de decisão pelo homem bem como a dificuldade em se desenvolver um sequenciamento automático na linha de despacho de placas, o desenvolvimento deste trabalho procura determinar as variáveis de análise quanto à alteração de velocidade, utilizando simulação de cenários operacionais possíveis, análise e avaliação dos melhores resultados e comparar o que se obteve com o modelamento e os resultados dos mecanismos atuais, no sentido de quantificar o ganho resultante da simulação.

Portanto este estudo vem buscar por diferenciais competitivos que auxiliem o atual processo operacional com problemas de dimensionamento ou fluxo para tomada de decisão, através de simulação utilizando o *software* ARENA na definição da melhor opção de regulação da velocidade da máquina de lingotamento diante da restrição.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Simulação

De acordo com o conceito de [Prado 2004], simulação, como o próprio nome indica, é uma técnica que permite imitar o funcionamento de um sistema real. Segundo o autor, a simulação é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema.

Uma definição mais completa de simulação é dada por [Bateman et al. 2013] que afirmam que a simulação é um processo de experimentação com um modelo detalhado de um sistema real para determinar como o sistema responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno.

[Freitas Filho 2008] afirma que a simulação tem sido cada vez mais aceita e empregada como uma técnica que permite aos analistas dos mais diversos seguimentos verificarem ou encaminharem soluções, com a profundidade desejada, aos problemas com os quais lidam diariamente.

Uma das vantagens da simulação, citada por [Freitas Filho 2008], é que através de um estudo de simulação pode-se compreender melhor quais variáveis são mais importantes em relação à performance e como as mesmas interagem entre si e com os outros elementos do sistema.

A simulação não se limita ao modelo computacional, segundo [Chwif e Medina 2015] esta se compõe de três grandes etapas (Figura 1):

- Concepção ou formulação do modelo;
- Implementação do modelo;

- Análise dos resultados do modelo.

Ainda conforme [Chwif e Medina 2015], na primeira etapa ou fase, concepção**,** o analista de simulação deve entender claramente o sistema a ser simulado e os seus objetivos, através da discussão do problema com especialistas. Já na segunda etapa, Implementação, o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional através da utilização do computador, com a aplicação de uma linguagem de simulação ou de um simulador comercial. Em sequência, na terceira etapa, Análise, depois de o modelo computacional estar pronto para a realização dos experimentos, dá-se origem ao modelo experimental ou operacional e que, a partir dos resultados podem ser criadas recomendações e até conclusões sobre o sistema.

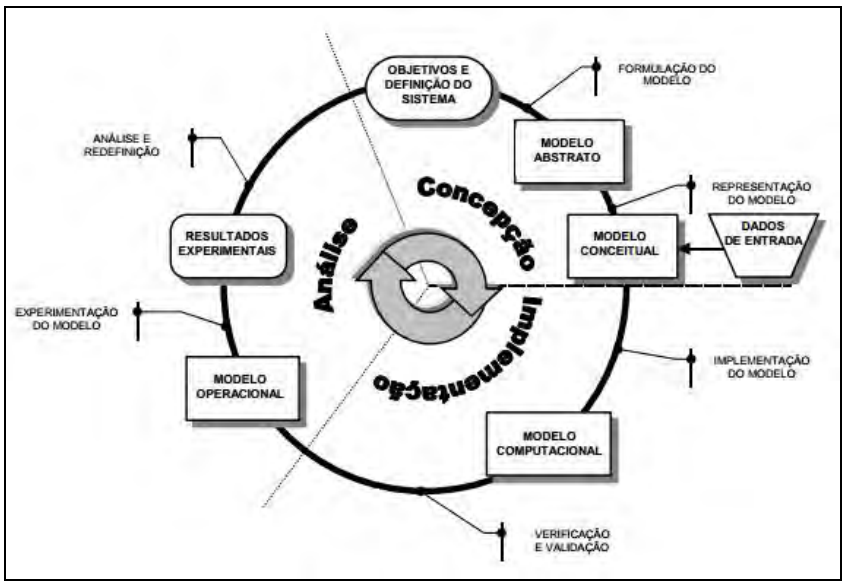

Figura 1 - Metodologia de simulação. Fonte: [Chwif e Medina 2015]

Existem diversos *softwares* de simulação no mercado, sendo o ARENA, um dos *softwares* de maior destaque. Lançado em 1993, o Software ARENA da Rockwell Software Corporation é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contem inúmeros recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados direcionados para a Simulação de Eventos Discretos [Prado 2004].

2.2 Lingotamento Contínuo

O processo de fabricação do aço é feito em três etapas: refino primário, refino secundário e lingotamento contínuo. O refino primário transforma o ferrogusa em aço líquido, o refino secundário procura ajustar a composição química do aço a ser fabricado e o lingotamento contínuo solidifica o aço líquido transformando-o em placas.

A máquina de lingotamento contínuo é um equipamento desenvolvido com tecnologia para produção de placas de aço de forma contínua. A figura 2 descreve um leiaute básico de forma segmentada de quais são os equipamentos necessários para que desenvolva o processo em uma máquina de lingotamento contínuo, que com exceção das máquinas horizontais, este esquema é típico das principais instalações industriais.

O princípio básico do processo de solidificação do aço segundo [Mourão et al. 2007], utilizando uma máquina de lingotamento contínuo, compreende no vazamento do aço líquido verticalmente a partir de uma panela que está depositada em uma torre a caminho de um distribuidor para dentro do molde de cobre refrigerado, aberto no topo e na base.

Para que a solidificação avance, após o material deixar o molde, o resfriamento é feito por um conjunto de chuveiros de água (*sprays*), distribuídos uniformemente ao longo da extensão da máquina, por entre os pares de rolos. O avanço da solidificação significa que ocorre um

aumento gradativo da espessura da pele, antes que se complete toda a solidificação do aço líquido existente no interior da placa. [Mourão et al. 2007]

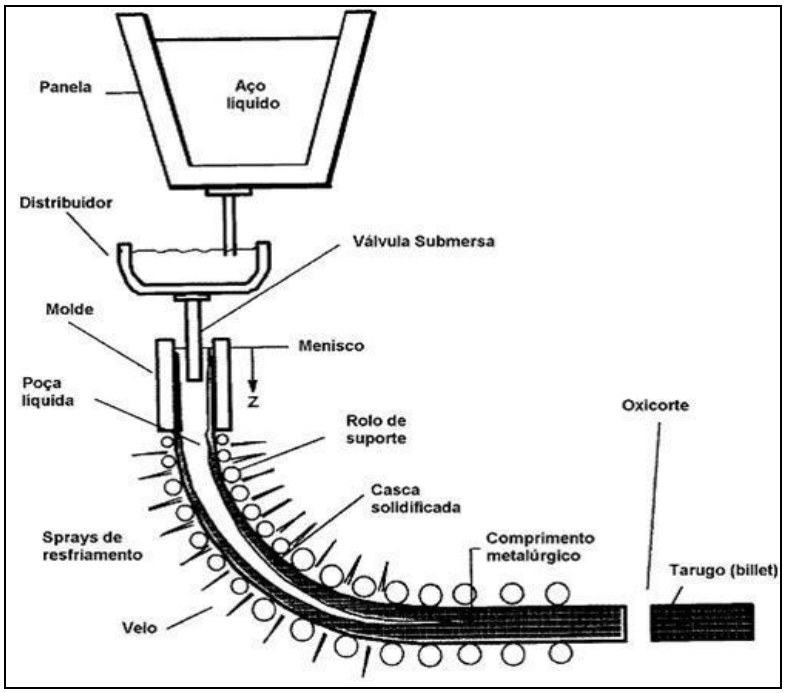

Figura 2 – Esquema geral do processo do lingotamento contínuo. Fonte - Arquivo dos autores.

Para [Sinel'nikov e Filippov 2013] deve-se ter o controle dos efeitos dos parâmetros no lingotamento contínuo durante o processo de solidificação da placa no molde, pois o comportamento e estado da superfície da pele da placa durante a solidificação primária são muito importantes para a qualidade das placas lingotadas. A maioria dos problemas relacionados à trincas em uma placa começam na região do menisco de metal líquido no molde sob a ação de esforços térmicos e mecânicos, e que continuam a operar nos movimentos do molde e também quando as placas são processadas após a saída do lingotamento contínuo.

O quadro 1 apresenta dados genéricos do efeito da velocidade de lingotamento sobre o nível de rejeição por defeitos de trincas nas placas lingotadas em uma máquina de lingotamento contínuo de dois veios sendo que um aumento na velocidade lingotamento levou a uma diminuição da rejeição por trinca conforme o período de teste.

Quadro 1 - Efeito da velocidade de lingotamento sobre uma placa laminada a frio.

Período	Taxa de rejeição conforme a velocidade de lingotamento (%)				
	0,6 m/min	0,7 m/min	0,8 m/min	0,9 m/min	1,0 m/min
1	13,94	2,99	2,46	1,06	0,35
2	4,72	3,74	1,59	1,59	1,12

Fonte – Arquivos dos autores.

3. Estudo de Caso

3.1 O Processo Estudado

O equipamento estudado trata-se de uma máquina de lingotamento contínuo, formada por duas linhas paralelas (veios ímpar e par) de produção cuja fabricação das peças ocorre simultaneamente e após a fabricação são encaminhadas convergindo para o mesmo ponto de

saída, e ao final desta linha ocorre a transferência da peça fabricada no veio par para o veio ímpar, ou seja, ao final se transforma em apenas uma linha de saída.

A linha de produção original apresenta restrições físicas de leiaute, capacidade e mobilidade dos equipamentos instalados para o atendimento à demanda conforme exige o mercado. Por serem dotadas de mesas de despacho de comprimento limitado, numa análise preliminar, não há possibilidade de automação imediata para aumento de capacidade ou flexibilidade, e assim necessita de projeto mais detalhado visando à sincronização das mesas com modificações mecânicas, elétricas e adequação no sistema de controle do sequenciamento.

Para um melhor entendimento do fluxo do processo, apresenta-se na Figura 3 o leiaute de ambas as linhas de descarregamento de placas. Nesta figura podem-se visualizar as situações operacionais onde se encontram dificuldades no processo de tomada de decisão.

Cada veio (ímpar e par) é composto de quatro mesas de rolos giratórios com comprimentos variados (mesas de corte, entrega, espera e transferência), um equipamento denominado transferidor de placas faz a ponte de ligação entre os dois veios e ao final a mesa giratória que recebe as placas de ambos os veios.

A sequência do processo de despacho de placas é constituída de mesas de rolos individuais em linha única até o final onde as placas são transferidas por uma ponte rolante e empilhadas no pátio aguardando envio para os processos posteriores de laminação.

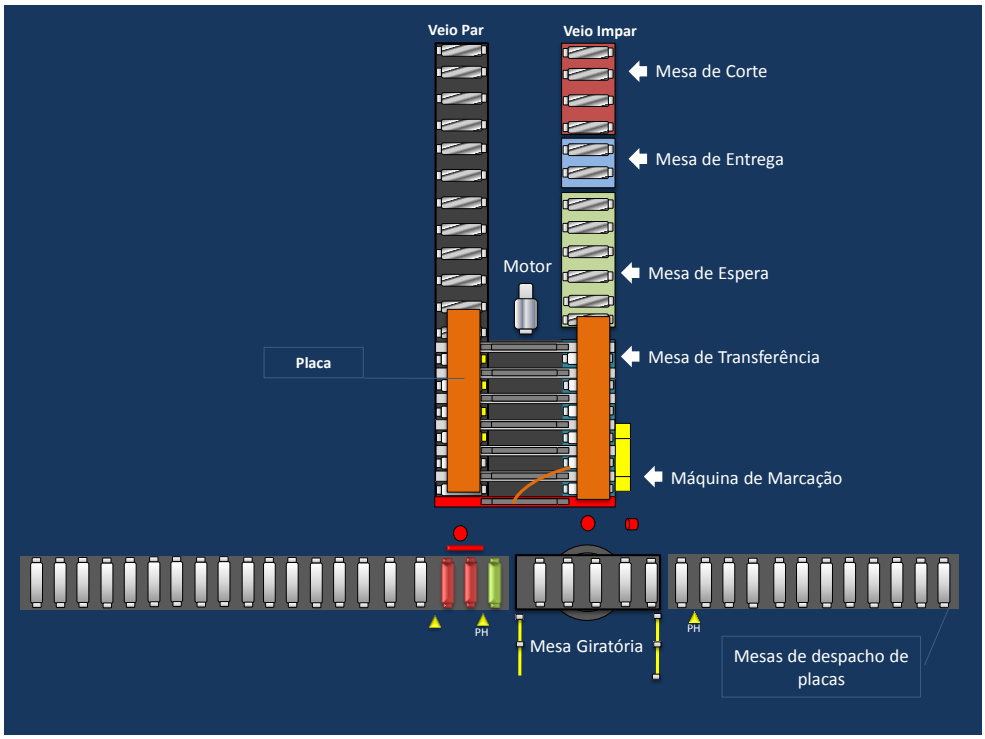

Figura 3 - Leiaute das mesas de despacho de placas. Fonte: Os autores.

3.2 Descrição do problema

A influência negativa na qualidade da placa de aço vai depender da intensidade da redução da velocidade de lingotamento, podendo haver aprofundamento da marca de oscilação no molde em função do aumento do tempo de estripamento negativo e, pelo menos dois pontos de atenção macros para análise do efeito desta redução sendo, o aspecto superficial e aspecto interno (segregação).

Na situação de operação normal sem interferências externas e sem necessidade de intervenção na velocidade de lingotamento, o fluxo segue a prioridade de despacho de placas

sendo sempre a linha ímpar, ou seja, a placa fabricada após se posicionar sobre a mesa de transferência tem a prioridade para ser transferida para mesa giratória e assim seguir a linha de despacho final. Após esta operação, a placa que estava aguardando no veio par é transferida para a mesa de transferência do veio ímpar e assim posteriormente ser conduzida para a mesa giratória e seguir para o despacho final. Feita esta sequência segue-se no mesmo formato de transferências sendo, ora a placa do veio ímpar, ora a placa do veio par.

Na situação em que ocorre uma obstrução ou ocupação da linha de despacho final restringindo a operação de transferência da mesa giratória e ambos os veios estão sincronizados na fabricação e contendo a mesma quantidade de placas. A restrição oferecida pela linha de despacho final pode ter diferentes causas, porém, as mais comuns são falhas nos equipamentos seguintes ou tempo demandado para que a ponte rolante efetue o transporte de placas até o local de empilhamento. Desta forma impossibilita o recebimento de placas pela mesa giratória e, por conseguinte, retendo o escoamento de placas pelos equipamentos dos veios par e ímpar.

Ao final da linha de despacho, o processo é concluído pela ponte rolante que retira a placa da ultima mesa e a transfere ao setor definido como pátio de placas efetuando o empilhamento e esse processo onde o tempo de operação é o mais significativo, necessitando levantando de todas as etapas desta operação.

A representação deste processo ocorre quando a ponte rolante, parada na posição de espera de placa, inicia o movimento de descida do conjunto com as pinças que prenderão as placas, em seguida o conjunto é erguido até o limite superior e então se inicia o movimento de translação da ponte com aceleração de velocidade padronizada e constante.

Ao atingir o ponto onde está a pilha de placas, o conjunto da pinça é abaixado, soltando-se a placa, e em seguida o conjunto é erguido novamente até atingir o ponto superior e posteriormente a ponte rolante aciona a translação e retorna ao ponto de espera da nova placa e nesse momento o tempo é fechado.

Para que haja melhor entendimento e orientação para empilhamento das placas, o local para onde são destinadas foi dividido em setores iguais (A, B, e C) conforme a disposição das sete colunas do galpão de abrigo, cuja distância entre cada uma delas contabiliza 19 metros para que a simulação pudesse definir para onde seriam enviadas as placas, como mostra a figura 4 e, desta forma contabilizar o tempo de transporte feito pela ponte rolante.

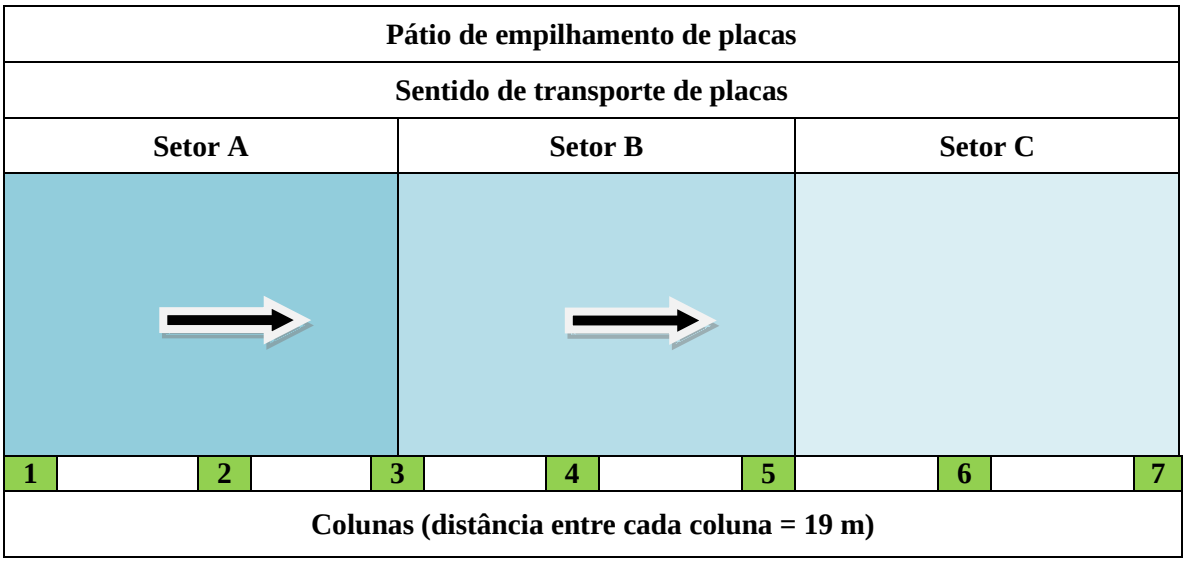

Figura 4 – Distribuição do pátio de empilhamento de placas. Fonte: Os autores.

3.3 Coleta de dados

O levantamento teve início avaliando as restrições impostas ao processo de fabricação de placas, devido o leiaute e disponibilidade de equipamentos instalados na linha de

descarregamento (Quadro 2) bem como os transtornos gerados a partir de anormalidades na linha de escoamento que sugere necessidade de redução na velocidade com que são fabricadas as placas com risco de colapso geral na linha e interferência negativa na qualidade e futura recusa das placas.

Para tanto foi necessária coleta de dados de velocidade de transporte dos processos após geração da placa até a acomodação das placas sobre a pilha formada no leito de resfriamento com o retorno da ponte rolante até o ponto inicial de parada das placas.

No desenvolvimento, a simulação utilizou de velocidades praticadas (Quadro 3) com mais frequência no processo de lingotamento contínuo, e desta forma pode-se avaliar e comparar o cenário simulado com o cenário real de operação.

Quadro 2 - Dimensionamento e velocidade de deslocamento das mesas de despacho

Especificação das mesas de rolos de descarga (por veio)				
Mesas de Rolos	Comprimento (mm)	Quantidade de rolos	Baixa e Alta velocidade de deslocamento (m/min)	
Corte	9000	06	1,36	13,6
Entrega	3000	03	1,36	13,6
Espera	7800	05	13,6	32,0
Transferência	9000	06	13,6	32,0
Giratória	8000	05	13,6	27,6
Balança	9000	07	32	
Veio Zero	9000	07	32	

Fonte: Os autores

Quadro 3 - Velocidades referência de lingotamento para simulação

Velocidades de lingotamento	
Amostras	m/min
1	0,80
2	0,90
3	1,00
4	1,10

Fonte: Os autores

3.4 Tratamento de dados

Existem dados que são indeterminados, normalmente os que envolvem tempo, pois os processos não são exatos, podendo ter variações em torno de um valor médio. Esse valor médio, normalmente, é utilizado em simulações estáticas e folhas de processo. Essas distribuições são determinadas através da coleta de dados do evento de interesse, esses dados são agrupados por classes em um histograma, e então a distribuição estatística é adequada a esse histograma.

Os dados coletados nesta pesquisa servirão de fonte de parametrização do *software* de simulação ARENA que é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados.

Tem-se como foco do estudo a condição descrita na situação com restrição onde simulações com vários níveis de velocidades de lingotamento são experimentadas de forma a evitar um colapso geral em ambas as linhas (veios par e ímpar) frente a vários cenários de tempos das restrições, pois atualmente, a intervenção humana se faz reduzindo a velocidade basicamente

com valores que sugerem mais comodidade para a manobra com as placas sem contudo avaliar os danos à qualidade das placas.

Em um modelo de simulação, são inseridos dados para que ele represente com precisão o sistema em estudo e existem aqueles que são indeterminados, normalmente os que envolvem tempo, pois os processos não são exatos, podendo ter variações em torno de um valor médio. Esse valor médio, normalmente, é utilizado em simulações estáticas e folhas de processo. Porém, em uma situação dinâmica temos a possibilidade de inserir esta variação no modelo, através de distribuições estatísticas apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Distribuição estatística dos processos até o despacho de placas

Processos	Resumo da Distribuição		
	Distribuição	Expressão	Erro Quadrado
Corte de placa	Weibull	180 + WEIB(20; 1,98)	0,012312
Mesa de espera	Normal	NORM(31,7; 1,08)	0,001614
Mesa Transferência	Normal	NORM(15,4; 0,862)	0,001523
Transferidor	Triangular	TRIA(7,5; 8,48; 9,5)	0.000028
Mesa Giratória	Normal	NORM(15,4; 0,862)	0,001523
Giro da mesa Girat.	Triangular	TRIA(13,5; 15,6; 16,5)	0,000034
Mesa da balança	Normal	NORM(15,4; 0,862)	0,001523
Pesagem	Gamma	52,5 + GAMM(0,989; 2,81)	0,013646
Mesa Veio Zero	Normal	NORM(15,4; 0,862)	0,001523
Mesa VZ2	Triangular	TRIA(18,5; 21; 23,5)	0,002642
Mesa VZ3	Triangular	TRIA(16,5; 17,4; 19,5)	0,000089
Mesa VZ4	Triangular	TRIA(16,5; 17,4; 19,5)	0,000089
Mesa VZ5	Triangular	TRIA(13,5; 14; 16,5)	0,000303
Mesa VZ6	Triangular	TRIA(13,5; 14; 16,5)	0,000303
Mesa VZ7	Normal	NORM(15,4; 0,862)	0,001523
Mesa VZ8	Normal	NORM(15,4; 0,862)	0,001523
Mesa VZ9	Weibull	18,5 + WEIB(3,22; 2,95)	0,005406
PR setor A	Beta	197 + 19 * BETA(1,47; 1.59)	0,013379
PR setor B	Beta	241 + 23 * BETA(2,52; 1,84)	0,012808
PR setor C	Beta	270 + 22 * BETA(2,28; 1,51)	0,015527

Fonte: Os autores

Essas distribuições são determinadas através da coleta de dados do evento de interesse, esses dados são agrupados por classes em um histograma, e então a distribuição estatística é adequada a esse histograma. Para obtenção destas distribuições, utilizou-se o *software Input Analyser* do ARENA.

3.5 Modelo computacional

Na elaboração desta modelagem, aplicando o *software* ARENA, foram utilizados diversos blocos de modelagem de fluxo e de dados. Estas ferramentas formam uma rede de informações e comandos por onde passam as entidades (placas) descrevendo assim a lógica do fluxo do processo. Em virtude das funções desejadas para se simular o processo de transporte de placas de aço em uma planta de lingotamento contínuo, utilizou-se basicamente três grupos de blocos definidos por *Basic Process, Advanced Process* e *Advanced Transfer*.

Aplicando como parâmetro de *setup,* para acompanhar o fluxo até o momento quando se gera um congestionamento da linha de produção, foram definidas 10 replicações com duração de 7 dias cada uma e considerando o dia de operação com 24 horas ininterruptas e utilizando a base de tempo em minutos.

Para melhor entendimento foi desenvolvido um fluxograma (Figura 5) representando o processo com a utilização de símbolos gráficos para descrever passo a passo da natureza e o fluxo. O objetivo foi mostrar de forma simples o fluxo das entidades conforme a sequência operacional que caracteriza o trabalho que está sendo executado.

Foi também desenvolvida uma sequência de animação que representasse o fluxo com as entidades se movendo ao longo das linhas que unem os blocos do modelo ARENA. Esta animação (Figura 6) foi desenhada a partir do desenvolvimento do fluxograma retratando todas as etapas do processo desde a liberação do corte das placas até o processo final onde a ponte rolante transporta as placas e promove o empilhamento nos setores definidos no pátio de placas.

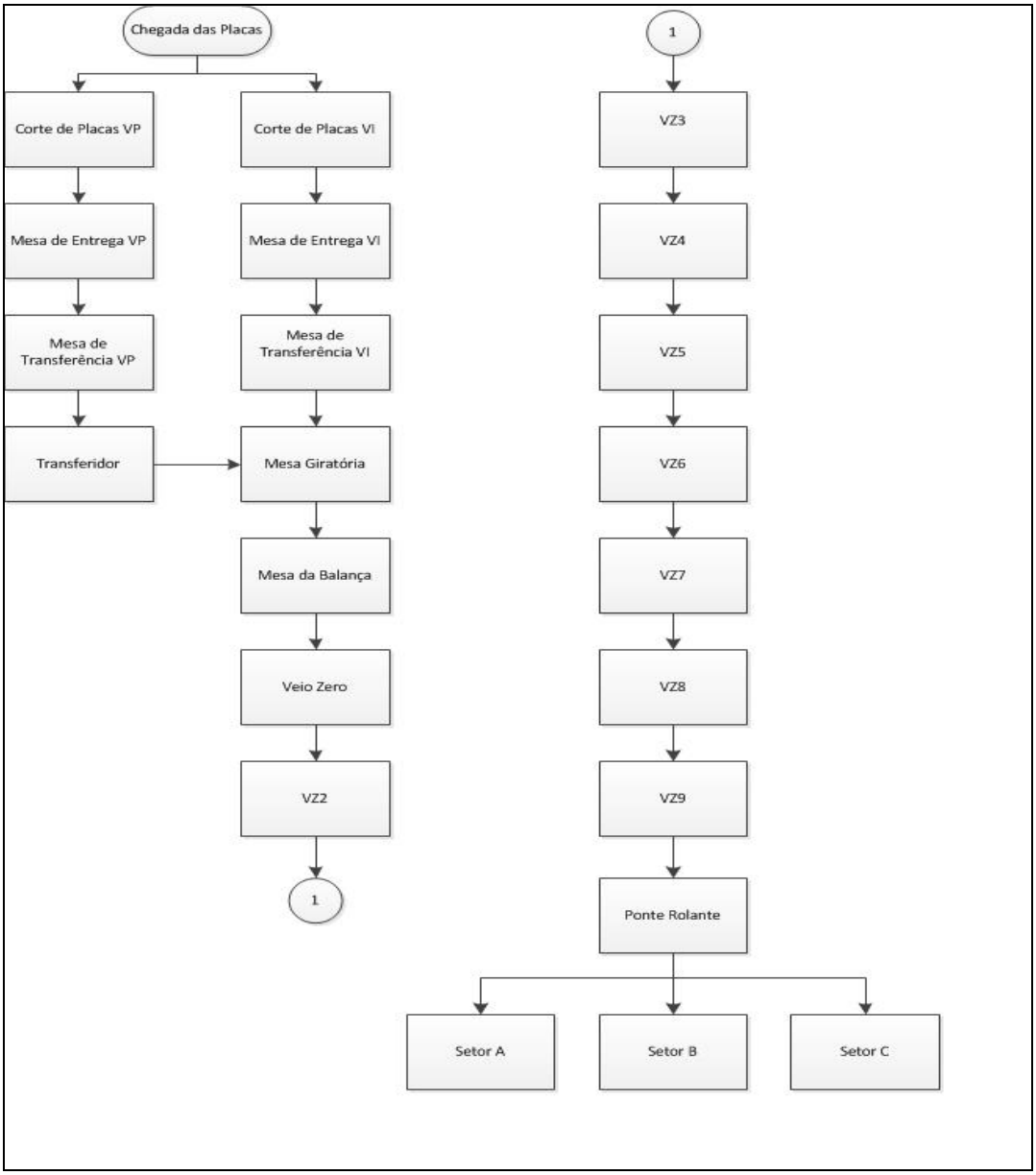

Figura 5 – Fluxograma do Processo de Lingotamento. Fonte: Os autores

Com esse nível de detalhamento, o modelamento animado dos cenários possíveis apresentando os passos do fluxo envolvendo os equipamentos e ponte rolante onde este último dispunha de três diferentes alternativas operacionais como opção.

4. Resultados e análise

Através desta simulação foi possível verificar o comportamento dos eventos em relação ao fluxo normal de operação e ainda constatar através da análise dos resultados apresentados pelo relatório do software ARENA.

Desta forma, no software ARENA simularam-se situações utilizando as velocidades padronizadas mais aplicadas no lingotamento de placas e as opções de local de armazenamento ou empilhamento das placas conforme os setores A, B ou C definidos no pátio. Para exemplificar a simulação feita, a Figura 6 apresenta a animação do problema estudado.

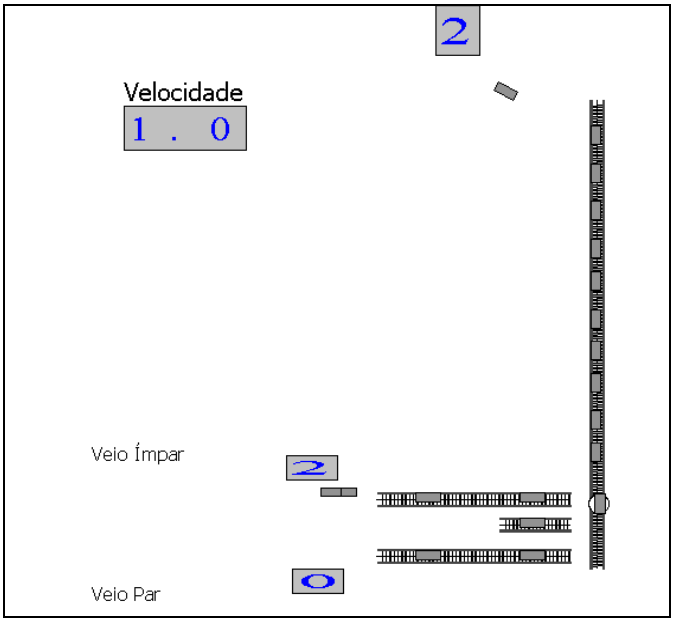

Figura 6 – Animação do modelamento em estudo. Fonte: Os autores

A partir dos dados gerados pela simulação dos eventos, nota-se que o equipamento ponte rolante, cuja tarefa é promover a coleta das placas ao final da mesa de rolos do veio zero, transportar e empilhar as mesmas ao longo do pátio de placas, é a operação que demanda mais tempo de ciclo e com isto torna o equipamento com a maior taxa de ocupação (Quadro 5) e é desse processo que desencadeia a formação de filas de placas ao longo das mesas de despacho.

Quadro 5 – Taxa de ocupação da Ponte Rolante

Velocidade (m/min)	Pátio de placas		
	Setor A	Setor B	Setor C
0,8	0,7444	0,9683	0,9992
0,9	0,8824	0,9992	0,9992
1,0	0,9803	0,9992	0,9992
1,1	0,9992	0,9992	0,9992

Fonte: Os autores

Avaliando o resumo dos tempos onde se iniciam as filas, a partir de cada velocidade programada para a máquina de lingotamento, verifica-se que a definição de qual será o setor para se fazer o empilhamento é muito importante no sentido de evitar que haja acúmulo de entidades ou placas paradas dentro do processo.

Nota-se pelos tempos de início de geração de fila **(**Quadro 6), algumas posições se tornam críticas em função da distância que a ponte rolante vai percorrer até o ponto de

empilhamento em função de limitações mecânicas de projeto não havendo como acelerar sua operação.

O resultado desta simulação mostrou qual será o setor para onde a operação vai destinar o empilhamento e desta formar resultar em uma operação que não contribua para a redução de velocidade de lingotamento bem como alterar o padrão de qualidade da placa fabricada. Vê-se no quadro 6 que em velocidade de 0,8 m/min apenas o setor C apresenta retenção, para as velocidades 0,9 e 1,0 m/min há retenção nos setores B e C. Na mesma condição também opera na velocidade 1,1 m/min, porém a rapidez que se inicia a fila traz transtornos imediatos à produção, havendo retenção nos três setores.

Quadro 6 – Resumo de todos os resultados na simulação de velocidades

RESUMO DA SIMULAÇÃO DE TRANSPORTE DE PLACAS				
Tempo médio de lingotamento				440 minutos
Velocidade (m/min)	0,8	0,9	1,0	1,1
Localização	Momento de início de geração de fila (min)			
Setor de empilhamento A	0	0	0	590,0
Setor de empilhamento B	0	620,0	270,04	195,14
Setor de empilhamento C	826,26	299,37	230,03	140,0

Fonte: Os autores

5. Conclusões

Nesse trabalho foi abordada a necessidade de se manter fluxo de despacho de placas sem que as possíveis restrições impostas pela distribuição e característica dos equipamentos disponíveis para estação causassem necessidade de intervenção na velocidade do processo de lingotamento e com isso alterasse a classificação de qualidade do aço produzido.

Cumpriu-se os objetivos propostos que, mesmo sem intervir no projeto da linha de despacho de placas, foi possível identificar e propor alternativas para o problema de necessidade de redução de velocidade em função de restrições da linda de fluxo e consequente geração de fila de placas.

Concluiu-se que se alterando parte da programação operacional seria possível atingir os objetivos de forma que as restrições do fluxo não conduziriam à necessidade de redução da velocidade do processo. Foi identificado que a movimentação da ponte rolante na etapa de transferência das placas para o pátio de placas se constituiu como sendo o maior ponto de restrição da anormalidade do fluxo. Através deste estudo foi simulada uma divisão e identificação do pátio de empilhamento em setores e assim definir o empilhamento das placas de acordo com esta identificação.

O empilhamento de placas através da ponte rolante obedecendo aos setores descritos e conforme a velocidade de lingotamento se mostrou com a forma mais eficaz de se conduzir o fluxo minimizando as restrições, ou seja, para velocidades mais baixas pode-se considerar empilhamento em qualquer dos setores, porém para velocidades mais altas deve-se utilizar setor mais próximo do ponto onde a ponte rolante coleta a placa.

Para efetividade deste estudo, orientações e recomendações surgiram a partir do uso da simulação apresentando quais seriam os setores adequados no empilhamento das placas se orientando pela velocidade de lingotamento, utilização da ponte rolante reserva cujo uso se limita quando ocorre defeito na ponte principal, pegando as placas a partir de um ponto no setor A e distribuir aos demais e, outra intervenção seria automatizar o software de velocidade da máquina acompanhando a condição de normalidade ou indicação de principio de restrição limitando a uma condição onde não afetaria a qualidade da placa.

Referências

Bateman, R. E., Bowden, R. O., et al. (2013). Simulação de Sistemas: Aprimorando Processos de Logística, Serviços e Manufatura. Elsevier, 4. Ed., Rio de Janeiro.

Chwif, L. e Medina, A. C. (2015). Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações. Elsevier, 4. Ed., Rio de Janeiro.

Freitas Filho, P. J. (2008). Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas. Visual Books, 2. Ed., Florianópolis.

Mourão, M. B., Yokoji, A., Malynowkyj, A., et al.. (2007). Introdução à Siderurgia. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo.

Prado, D. (2004). Usando o ARENA em Simulação. INDG, Belo Horizonte, 2. Ed..

Sinel'nikov, V. A. e Filippov G. A. (2013). **Production of High Quality Slabs during Continuous Casting of cracking Sensitive Steel part 2**. Bardin Central Research Institutr for the Iron and Steel Industry. Vtoraya Baumanskaya ul, Moscow, Russia. November 22, 2013.