MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE UMA ACIARIA

Douglas Ferreira Maia

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Aprovada por:

_____
Prof. Fernando Marques de Almeida Nogueira, D. Sc.

_____
Prof. Marcos Martins Borges, D. Sc.

_____
Prof. José Geraldo Ferreira, M. Sc.

JUIZ DE FORA, MG – BRASIL
NOVEMBRO DE 2008

MAIA, DOUGLAS FERREIA

Modelagem e simulação computacional de uma aciaria

[Juiz de Fora] 2008

X, 56 p. 29,7 cm (EPD/UFJF, Graduação, Engenharia de Produção, 2006)

Monografia - Universidade Federal de Juiz de Fora, Departamento de Engenharia de Produção

1. Modelagem e simulação

2. Aciaria

I. EPD/UFJF II. Título (série)

AGRADECIMENTOS

É com imenso prazer que escrevo esta parte do trabalho, onde venho agradecer à todos que contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e/ou deste trabalho.

Agradeço, acima de tudo, aos meus pais, que me trouxeram apoio e confiança não apenas durante esta etapa, mas também durante toda minha vida. À estes, não existem palavras ou ações que retribuam os valores e ensinamentos prestados.

À Marri pelo carinho, apoio e confiança despedidos durante este período.

Ao D. Sc. Fernando Nogueira incentivador deste trabalho, que apoiou e orientou a elaboração deste trabalho com enorme paciência e transmitindo vasto conhecimento.

Aos professores Marcos Borges, José Geraldo Ferreira e Eduardo Breviglieri, pelas sugestões, colaborações e por participarem da banca.

Aos amigos do Marmita, que me ensinaram e acompanharam de modo suficiente para se tornarem inesquecíveis.

O Carlos Orestes pelo apoio e paciência.

À todos os outros que apoiaram ou participaram desta jornada, auxiliando no desenvolvimento do trabalho ou tornando agradável esta jornada.

Resumo da monografia apresentada à Coordenação de Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia Produção.

MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE UMA ACIARIA

Douglas Ferreira Maia

Novembro/2008

Orientador: Fernando Marques de Almeida Nogueira

Curso: Engenharia de Produção

Diante da constante necessidade de aumento dos lucros empresariais, o estudo sobre modificações no processo produtivo é o foco de inúmeras analises. Ante a complexidade dos cenários estudados a utilização da simulação computacional se mostra uma valiosa ferramenta para a análise de decisão, se apresentando economicamente viável e com resultados fidedignos aos alcançados nas modificações reais das unidades fabris. Neste trabalho busca-se retratar o aumento na capacidade produtiva do macro-processo de uma aciaria genérica diante de modificações no cenário inicial. Para a estruturação deste Trabalho de Conclusão de Curso, buscou-se retratar uma aciaria genérica, com suas capacidades, restrições e fluxo de produção, bem como desenvolver um conjunto de Jobs e seu seqüenciamento, caracterizando assim um cenário inicial para deste ponto efetuar modificações em seus parâmetros para a caracterização de um segundo cenário. Estes são estruturados como modelos computacionais de simulação, no software SimEvents, para a experimentação e geração de resultados, objetivando a comparação e caracterização do acréscimo de capacidade diante das modificações.Por fim, observou-se que houve redução nos tempos médios de espera na fila, redução do tamanho das filas e um significativo acréscimo de produtividade.

Palavras-chaves: Modelagem, Siderurgia, Cenários, Análise

Abstract of the monograph presented to the Coordination of Course of Production Engineering as part of requirements for graduation in Production Engineering

COMPUTER MODELING AND SIMULATION OF STEELWORKS

Douglas Ferreira Maia

November/2008

Advisor: Fernando Marques de Almeida Nogueira

Course: Production Engineering

Faced with the constant need for increased corporate profits, the study of changes in the production process are the focus of numerous analysis. Due to the complexity of the scenarios studied the use of computer simulation shows is a valuable tool for analyzing decision-making, is presenting economically viable and reliable results with the actual changes made in the factories. In this paper is portraying the increase in productive capacity of macro-process for a generic steelworks before changes in initial stage. For the structuring of this monograph, trying to depict a generic steel works, with their abilities, restrictions and flow of production, and develop a set of Jobs and their sequencing, thus characterizing an initial scenario to make changes at this point its parameters for the characterization of a second scenario. These are structured as computational models of simulation in SimEvents software, for testing and generation of results, aiming to compare and characterize the additional capacity before the end modifications. Finally, it is observed that there was a reduction in average time of waiting in line, reducing the size of the queues and a significant increase in productivity

Keywords: Modeling, steel, scenario, analysis**.**

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS III
RESUMO iv
ABSTRACT V
LISTA DE FIGURAS VII
LISTA DE TABELAS IX
LISTA DE ANEXOS X

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO 1

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS 1
1.2. OBJETIVOS 1
1.3. JUSTIFICATIVAS 2
1.4. ESCOPO DO TRABALHO 2
1.5. METODOLOGIA 2
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 4
2.1. SIDERURGIA 4
2.1.1. PREPARAÇÃO DA CARGA 5
2.1.2. REDUÇÃO 6
2.1.3. REFINO 6
2.1.4. CONFORMAÇÃO MECÂNICA 7
2.2. SIMULAÇÃO 7
2.2.1. MODELOS SIMBÓLICOS 7
2.2.2. MODELOS MATEMÁTICOS 8
2.2.3. MODELOS DE SIMULAÇÃO 8
SIMULAÇÃO CONTÍNUA 8
SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO 8
SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS 9
2.2.4. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DA SIMULAÇÃO 9
2.3. SIMULINK 10
CAPÍTULO III – DESCRIÇÃO DO CASO 11
3.1. O AÇO 11
3.1.1. CENÁRIO MUNDIAL 11
3.1.2. CENÁRIO BRASILEIRO 12
3.2. A EMPRESA 13
3.3. O ESTUDO 15
CAPÍTULO V - CONCLUSÃO 43

ANEXOS *46*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – RESUMO DO CRONOGRAMA 3

FIGURA 2.1 FLUXO SIMPLIFICADO DE PRODUÇÃO 5

FIGURA 2.2 – METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO (MEDINA, 2007) 9

FIGURA 3.1 – CUSTOS X PRODUÇÃO MUNDIAL 13

FIGURA 3.2 – ATUAÇÃO DO MODELO NO PROCESSO DE DECISÃO (PELO AUTOR, 2008) 16

FIGURA 4.1 – JOB-SHOP: GANTT CHART 19

FIGURA 4.2 – MODELO SIMBÓLICO 21

FIGURA 4.3 – MODELO INICIAL DE SIMULAÇÃO 24

FIGURA 4.4 – GERAÇÃO DAS CORRIDAS, MODELO INICIAL 24

FIGURA 4.5 – CONVERTEDORES, MODELO INICIAL 26

FIGURA 4.6 – REFINADORES SECUNDÁRIOS, MODELO INICIAL 27

FIGURA 4.7 – GERAÇÃO DAS CORRIDAS, MODELO 1 28

FIGURA 4.8 – TEMPOS DE PROCESSAMENTO, MODELO 1 29

FIGURA 4.9 – TEMPOS DE PROCESSAMENTO - SUBSISTEMA, MODELO 1 30

FIGURA 4.10 – CONVERTEDORES, MODELO 1 31

FIGURA 4.11 – REFINADORES SECUNDÁRIOS, MODELO 1 32

FIGURA 4.12 – LINGOTAMENTO CONTÍNUO, MODELO 1 32

FIGURA 4.13 – EXPEDIÇÃO, MODELO 1 33

FIGURA 4.14 – PARÂMETROS, MODELO 2 34

FIGURA 4.15 – GERAÇÃO DAS CORRIDAS, MODELO 2 35

FIGURA 4.16 – TEMPOS DE PROCESSAMENTO, MODELO 2 35

FIGURA 4.17 – TEMPOS DE PROCESSAMENTO - SUBSISTEMA, MODELO 2 36

FIGURA 4.18 – CONVERTEDORES, MODELO 2 36

FIGURA 4.19 – REFINADORES SECUNDÁRIOS, MODELO 2 37

FIGURA 4.20 – LINGOTAMENTO CONTÍNUO, MODELO 2 37

FIGURA 4.21 – EXPEDIÇÃO, MODELO 2 38

FIGURA 4.22 – GRÁFICO COMPARATIVO DAS PRODUÇÕES..... 40

FIGURA 4.23 – GRÁFICO COMPARATIVO DO TAMANHO MÉDIO DAS FILAS 41

FIGURA 4.24 – GRÁFICO COMPARATIVO DO TEMPO MÉDIO DE ESPERA NAS FILAS..... 42

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – CARACTERÍSTICAS DE PROCESSAMENTO, CONVERTEDORES..... 13

TABELA 3.2 – CARACTERÍSTICAS DE PROCESSAMENTO, REFINO SECUNDÁRIO..... 14

TABELA 3.3 – CARACTERÍSTICAS DE PROCESSAMENTO, LINGOTAMENTO CONTÍNUO 14

TABELA 4.1 – TABELA DE *JOBS* DA ACIARIA 18

TABELA 4.2 – TABELA DE TEMPOS DE PROCESSAMENTO DOS *JOBS* DA ACIARIA..... 19

TABELA 4.3 – TABELA DE DISTRIBUIÇÃO DOS TEMPOS DE PROCESSAMENTO DOS *JOBS* DA ACIARIA..... 20

LISTA DE ANEXOS

1. ANEXO 1 – CRONOGRAMA GERAL 46

2. ANEXO 2 – SAÍDAS DO MODELO 47

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Diante do mercado globalizado a competitividade se dá na melhoria continua da relação qualidade-custo. Sob a ótica de custos, sua redução pode ser oriunda de melhorias logísticas, redução de custos dos processos de fabricação, aumento da capacidade produtiva amortizando-se assim os custos fixos, em fim, das maneiras mais diversificadas possíveis.

No ramo da siderurgia um aumento da produção, associado à redução de custos, se faz ainda mais necessária em virtude do protecionismo de alguns mercados, reduzindo o valor final do produto para clientes internacionais e, por conseqüência, aumentando a competitividade da empresa.

Visando um aumento da produção, tanto para expansão da fatia do mercado interno quanto externo, vários investimentos podem ser feitos no processo, porém em virtude dos montantes despendidos, faz-se necessário uma profunda analise do retorno deste investimento a ser realizado.

Uma ferramenta que auxilia na tomada destas decisões é a simulação da linha de produção em um ambiente computacional, isto em decorrência do reduzido valor de investimento necessário para sua elaboração em comparação com a velocidade e fidelidade das respostas, bem como com os custos dos investimentos realizáveis na melhoria destes processos.

De tal modo o presente trabalho busca apresentar um modelo de simulação computacional de uma empresa de siderurgia, mostrando assim sua eficácia, podendo se tornar uma ferramenta para analise do processo atual ou sofrer modificações que representariam futuras mudanças no processo. Este modelo apresentará dois cenários, onde no primeiro será apresentada uma empresa (máquinas, produtividade) e no segundo será analisada o resultado a ser alcançado após sua expansão.

1.2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo realizar a simulação computacional da linha de produção de uma empresa siderúrgica inexistente e com parâmetros desenvolvidos a partir da literatura de referência. Para isto utilizar-se-á o SimEvents na analise de dois cenários e comparação entre os indicadores de produtividade destes. O processo se restringirá entre o preparo da matéria prima e o lingotamento continuo.

1.3. JUSTIFICATIVAS

Diante da escassez de recursos e da busca por competitividade, os investimentos devem ser eficientes e direcionados pela estratégia da empresa. Desta forma uma gestão comprometida com resultados, deve apresentar investimentos profundamente analisados para que se tenham garantias de um retorno satisfatório.

Neste contexto uma ferramenta onde se possa simular o retorno de um investimento auxilia na tomada de decisões. Tal modelo se faz jus na agilidade da resposta às possíveis modificações no processo e à fidelidade das respostas alcançadas. Outro aspecto relevante é o baixo valor de investimento para que se tenha uma ferramenta da tal confiabilidade para auxiliar à tomada de decisões estratégicas.

A siderúrgica a ser modelada, simulada e analisada apresentou, em um primeiro instante, três fornos convertedores, dois fornos de refino secundário e dois lingotamentos contínuos, sendo posteriormente acrescentado mais um refinador secundário e um lingotamento contínuo.

1.4. ESCOPO DO TRABALHO

O projeto consiste na comparação de dois cenários a partir de modelos de simulação, onde os modelos criados retratarão o macro-processo operacional de uma aciaria de uma empresa siderúrgica. Retrato este formado através de suas capacidades e restrições.

O trabalho se propõe além da elucidação dos processos envolvidos, apresentar as ferramentas utilizadas no modelo computacional a ser desenvolvido, a fim de se tornar uma ferramenta confiável para a analise de modificações nas unidades fabris.

1.5. METODOLOGIA

De uma maneira geral o trabalho seguirá o cronograma abaixo (Resumo do cronograma geral – Anexo 1)

- **Cronograma de Trabalho - Douglas Maia**
  - **Cronograma para o Memorial de Qualificação**
  - **Cronograma para o TCC**
    - **Estudos Revisionais**
    - **Portifólio**
    - **Estudos Preliminares**
      - Detalhamento dos Processos de uma Aciaria
      - **Estruturação do Modelo Simbólico**
      - Desenvolvimento do Modelo Inicial
      - Comparação dos Resultados
    - **Desenvolvimento dos Modelos**
      - Caracterização dos Cenários
      - **Implementação dos Modelos**
      - Verificação e Validação dos Modelos
      - Experimentação
      - Estruturação dos Dados da Saida dos Modelos
    - **Estudos Comparativos**
    - **Memorial**
    - **Apresentação**
      - Apresentação Final

Figura 1.1 – Resumo do Cronograma

Para o desenvolvimento do tema o trabalho se dividiu em três etapas principais:

1.5.1. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Nesta etapa foram realizadas pesquisas sobre os processos produtivos das industrias siderúrgicas, contemplando não só as etapas mas também as capacidades das células. Estes dados foram utilizados para o desenvolvimento de uma industria siderúrgica fictícia porém com processos e capacidades condizentes com as industrias nacionais.

1.5.2. ELABORAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO NO MODELO

Nesta etapa foram transferidos, os dados desenvolvidos na etapa anterior, para os modelos computacionais desenvolvidos no SimEvents (software a ser melhor detalhado a seguir).

1.5.3. ANALISE DAS SAÍDAS

Nesta etapa as saídas dos modelos desenvolvidos anteriormente foram analisadas e comparadas a fim de se estimar a variação da produção.

Capítulo II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SIDERURGIA

As indústrias siderúrgicas possuem, basicamente, a função de transformar o minério de ferro e outras matérias primas em aço carbono. O aço é uma liga de Ferro Carbono que contém menos de 2% de carbono.

Um modo de classificar as usinas siderúrgicas é em:

- Integradas - que operam as três fases básicas: redução, refino e laminação;
- Semi-integradas - que operam duas fases: refino e laminação. Estas usinas partem de ferro gusa, ferro esponja ou sucata metálica adquiridas de terceiros para transformá-los em aço em aciarias elétricas e sua posterior laminação.
- Não integradas, que operam apenas uma fase do processo: redução ou laminação.

A sucata, devido seu menor custo, grande disponibilidade e por ser reciclável vem sendo amplamente utilizada como matéria-prima. Esta sucata é constituída por retalhos de chapas metálicas, cavacos de usinagem, latarias de carros usados, peças de aço e ferro de equipamentos em desuso, e outros. A utilização de sucata gera um produto final de melhor desempenho na construção civil. Os elementos químicos residuais normalmente existentes em maior porcentagem na sucata, tais como cobre, níquel, cromo e estanho, entre outros, fazem com que se obtenham materiais com características mecânicas mais altas quando comparados com aços provenientes da matéria-prima minério de ferro.

A sucata recebida é separada, em locais específicos, e devidamente preparada (alguns tipo de sucata são prensados para melhorar o rendimento do forno).

Segundo Gomes (1999) outras importantes matérias-primas do processo são:

- Ferro Gusa – obtido através da redução do minério de ferro, adiciona ferro, carbono e silício ao produto. Este último é uma importante fonte de energia para o processo, através de sua oxidação gerada após o sopro de oxigênio.
- Ferroligas – utilizadas para conferir características mecânicas desejáveis.
- Cal – retém as impurezas do metal e forma a escoria.
- Oxigênio – reduz a quantidade de carbono no aço e diminui o tempo de fusão.

. A seguir segue um esquema da como se da o processo em uma aciaria.

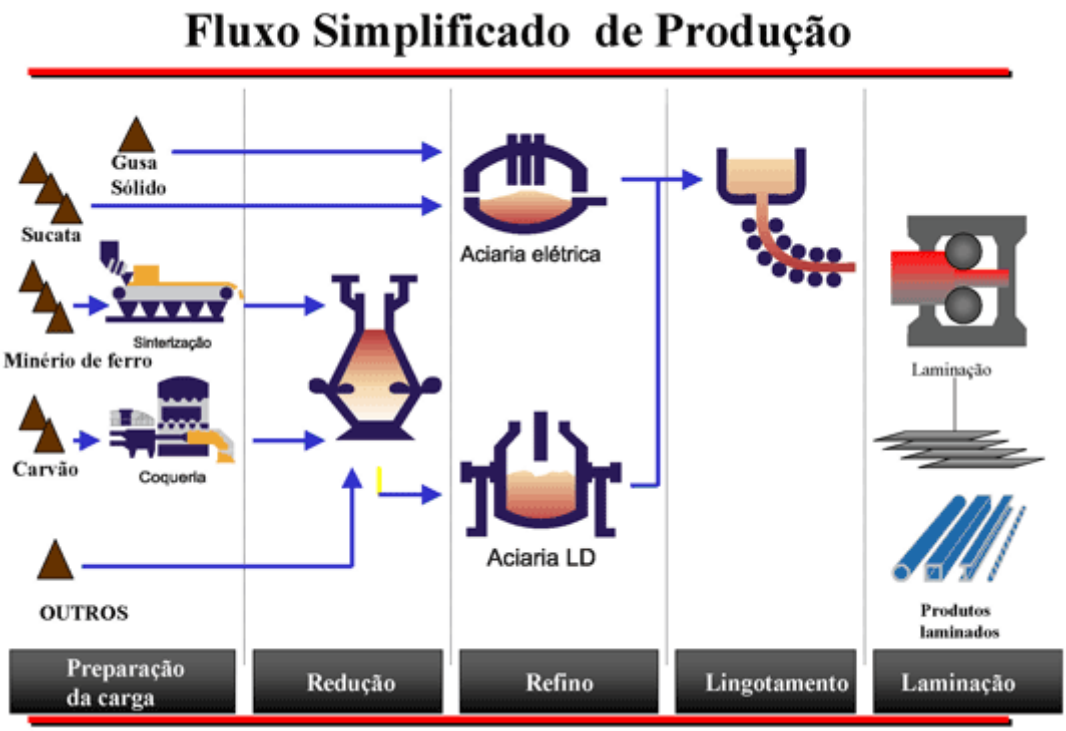


Figura 2.1 Fluxo Simplificado de Produção
Fonte: Site IBS (consulta, junho de 2008)

Os principais componentes da unidade são: Convertedor, Forno Elétrico e/ou Panela e Máquina de Lingotamento Contínuo.

A fabricação do aço pode ser dividida em quatro etapas: preparação da carga, redução, refino e laminação.

2.1.1. PREPARAÇÃO DA CARGA

Grande parte do minério de ferro (finos) é aglomerada utilizando-se cal e finos de coque. O produto resultante é chamado de Sinter.

A Sinterização, destina-se a transformar o minério de ferro fino, atravéz de um processo de aglomeração à quente com outros materiais também finos, envolvendo cálcio, coque, dentre outros, resultando no Sinter. Este Sinter é uma fonte metálica para carregamento nos auto-fornos.

Na Coqueira o carvão mineral é transformado em coque. Este é produzido através da destilação de misturas de carvões em baterias de fornos. Neste processo há geração de gases, que após resfriados e tratados, são enviados para distribuição e utilização na usina. O coque é enviado para os auto-fornos, onde exerce dupla função, atuando como redutor dos óxidos de ferro e como fonte térmica para o processo.

2.1.2. REDUÇÃO

Esta etapa se destina a tirar o oxigênio do óxido- de –ferro e produzir o ferro gusa. As matérias-primas, agora preparadas, são carregadas no alto forno. Oxigênio aquecido a uma temperatura de 1000ºC é soprado pela parte de baixo do alto forno. O carvão, em contato com o oxigênio, produz calor que funde a carga metálica e dá início ao processo de redução do minério de ferro em um metal líquido: o ferro-gusa. O gusa é uma liga de ferro e carbono com um teor de carbono muito elevado.

Após o vazamento do ferro gusa liquido, este vai para o carro torpedo, que o transporta até a fase de refino e faz seu pré-tratamento, removendo enxofre, através da adição de agentes dessulfuradores através de uma lança.

2.1.3. REFINO

Aciarias a oxigênio ou elétricas são utilizadas para transformar o gusa líquido ou sólido e sucata de ferro e aço em aço líquido. Nessa etapa parte do carbono contido no gusa é removida juntamente com impurezas.

No processo de fabricação de aço nos convertedores ocorre a fusão e refino da carga (basicamente gusa e sucata) através do sopro de oxigênio objetivando a descarburação. Durante o sopro ocorre a oxidação dos elementos contidos no gusa, gerando elevação da temperatura do material e eliminação dos elementos indesejáveis.

Nos refinadores secundários ocorre o balanço da produção entre convertedores e o lingotamento contínuo. Neste forno é feito o ajuste da composição química e da temperatura do aço liquido. Funções do refino secundário:

- Aquecimento químico.
- Resfriamento através da adição de sucata.
- Agitação (borbulhamento de gás).
- Ajuste da composição química e temperatura.
- Injeção de pó para dessulfuração.
- Descarburação livre forçada.
- Remoção de hidrogênio
- Tratamento ligeiro

2.1.4. CONFORMAÇÃO MECÂNICA

Aqui, no lingotamento contínuo, ocorre o resfriamento controlado do aço líquido vazamento em molde, e solidificação em formas e dimensões previamente definidas.

2.2. SIMULAÇÃO

O termo “Simulação”, sob a ótica em questão, vem retratar o emprego de técnicas almejando a reprodução do comportamento de sistemas reais. Esta reprodução visa entender o comportamento de um sistema, avaliar sua operação, ou ainda, buscar sua otimização.

Utilizada inicialmente na década de 50 com fins militares, hoje se estende nas mais diversas áreas como importante ferramenta para o analise e compreensão de sistemas, melhoria nas operações, controle e medição de resultados, dentre outros focos de trabalho.

Os conceitos de “sistema” e “modelo” se tornam primordiais para o entendimento do proposto, e serão melhor esclarecidos adiante.

- Sistema – Segundo Forrester (1968) apud Medina (2007) “*é um agrupamento de partes que operam juntas, visando um objetivo em comum”,* assim este deve estabelecer relações de causa e efeito entre as partes que o compõem. Para um modelo fidedigno estas partes devem ser claramente identificadas, bem como o objetivo de tal.
- Modelo – É uma abstração da realidade, uma representação simplificada do sistema. Esta simplificação deve se dar de modo a transmitir fidelidade de etapas e resultados do sistema, evitando assim uma complexidade demasiada.

Os modelos podem se distinguir em três categorias básicas: simbólicos, matemáticos e de simulação.

2.2.1. MODELOS SIMBÓLICOS

Também chamados de Modelos Icônicos ou Diagramáticos, muito utilizados para a comunicação ou documentação, se fazem valer de símbolos gráficos para representar o modelo. Possuem deficiência no detalhamento do sistema, bem como na carência de elementos quantitativos devido sua representação estática do mesmo. Um exemplo corriqueiro deste é o fluxograma de processo.

2.2.2. MODELOS MATEMÁTICOS

Os Modelos Matemáticos, ou Analíticos se fazem valer de ferramentas matemáticas para a sua analise, e retornam com uma solução rápida e exata. Comumente se tratam de modelos estáticos e, por decorrência da complexidade dos sistemas, utilizam de hipóteses simplificadoras. Dois casos comuns são a Programação Linear e a Teoria de Filas (esta possui natureza não estática).

2.2.3. MODELOS DE SIMULAÇÃO

Estes modelos, por considerarem suas naturezas dinâmicas e aleatórias, apresentam um maior grau de complexidade, porém resultam em capturas mais fidedignas ao cenário real. Este tipo de modelo propõe-se a apresentar o comportamento do sistema diante de alterações em sua estrutura.

As técnicas de Simulação podem ser divididas em computacionais e não-computacionais.

A simulação não computacional utiliza de ferramentas, como o teste em túnel de vento, já a computacional se realiza através da criação de cenários virtuais e modelos matemáticos que suportem modificações durante sua execução.

A simulação computacional se divide em três categorias básicas: Simulação de Monte Carlo, Simulação Continua e Simulação de Eventos Discretos, esta último sendo o objeto de suporte para este trabalho. A seguir será feita uma breve apresentação destas.

SIMULAÇÃO CONTÍNUA

Segundo Medina (2007) esta é utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo, como uma xícara de chá quente colocada em temperatura ambiente, por exemplo. Esta utiliza equações diferenciais para o cálculo das mudanças das variáveis de estado ao longo do tempo.

SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Também tratada como Simulação Estática, este tipo de modelo não trata o tempo como parâmetro mais importante, e utiliza números aleatórios para, geralmente, simular sistemas matemáticos ou físicos.

SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Ao contrario da anterior, esta é utilizada para modelar sistemas que mudam seu estado em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência de eventos. Estes são analisados por modelos numéricos, que não são resolvidos, retornando uma resposta exata, mas sim executados, e diante das restrições apresentadas, e os resultados observados são interpretados para a medição do desempenho do sistema.

2.2.4. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DA SIMULAÇÃO

A simulação não se limita ao modelo computacional, segundo Medina (2007) esta se compõe de três grandes etapas:

- Concepção ou formulação do modelo.
- Implementação do modelo.
- Análise dos resultados do modelo.

Estas podem ser resumidas em uma representação esquemática proposta por Medina (2007).

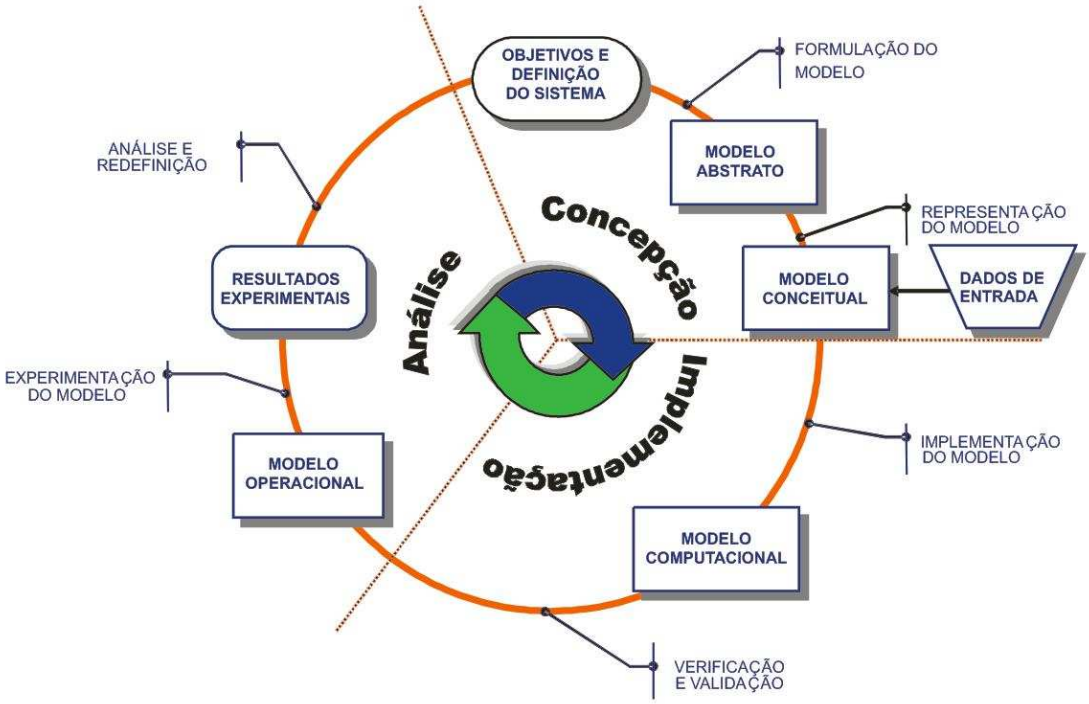


Figura 2.2 – Metodologia de Simulação (Medina, 2007)

2.3. SIMULINK

Criado pela MATHWORKS o SIMULINK, segundo Severo [1999], é um programa utilizado para modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos. O programa se aplica a sistemas lineares e não lineares, contínuos e/ou discretos no tempo.

Por utilizar uma interface de fácil utilização, vem sendo amplamente utilizado. Esta interface gráfica facilita a criação dos modelos por ser criada a partir de diagramas de blocos, assim, em um estágio inicial da elaboração, se comporta como na elaboração de um fluxograma. Sua versão resulta da evolução de pacotes que necessitavam de formulação de equações e linguagens de programação. Sua biblioteca de blocos traz uma vastidão de elementos já programados e que podem ser personalizados ou mesmo criados.

Além da vastidão de blocos, o programa também oferece a simulação com diferentes algoritmos de resolução, bastando selecioná-la na linha de comando. Também permite o acompanhamento da simulação enquanto esta está sendo executada, através de saídas gráficas. Suas saídas também podem ser depois exportadas para o MATLAB para análises complementares.

Assim, com a interação entre o SIMULINK e o MATLAB, pode-se, não apenas, realizar uma simulação, mas realizar uma ánalise e revisão dos modelos.

O SIMULINK possui uma ferramenta para a modelagem e simulação de eventos discretos, o *SimEvents*, que permite aplicar sobre os modelos a avaliação de parâmetros como tempo de espera em filas, tamanho das fila, processamentos, atrasos, caracterização de gargalos. Com esta ferramenta pode-se configurar as entidades com aos atributos definidos pelo usuário, como o seqüenciamento das operações, tempos de processamento, tamanho máximo de filas. O pacote se baseia na simulação de redes dinâmicas, estruturada em blocos, com simulação dos eventos do sistema em tempo real, gerando os gráficos e valores de saída desejáveis.

Capítulo III – DESCRIÇÃO DO CASO

3.1. O AÇO

Conforme o site do Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS – (consulta, maio de 2008):

> *No atual estágio de desenvolvimento da sociedade, é impossível imaginar o mundo sem o uso de ferro fundido e aço. A produção de aço é um forte indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país. Seu consumo cresce proporcionalmente à construção de edifícios, execução de obras públicas, instalação de meios de comunicação e produção de equipamentos.*
>
> *Esses materiais já se tornaram corriqueiros no cotidiano, mas fabricá-los exige técnica que deve ser renovada de forma cíclica, por isso o investimento constante das siderúrgicas em pesquisa. O início e o processo de aperfeiçoamento do uso do ferro representaram grandes desafios e conquistas para a humanidade.*

3.1.1. CENÁRIO MUNDIAL

Há cerca de 4.500 anos, o ferro metálico começou a ser usado, por sua beleza, maleabilidade e por ser de difícil obtenção, era considerado um metal precioso que se destinava, principalmente, ao adorno. A Idade do Ferro é considerada como o último estágio tecnológico e cultural da pré-história. Aos poucos, as armas e os utensílios feitos de bronze foram substituídos pelo ferro. Na Europa e no Oriente Médio, a Idade do Ferro começou por volta de 1200 a.C.. Na China, porém, ela só se iniciou em 600 a.C.

O uso do ferro promoveu grandes mudanças na sociedade. A agricultura se desenvolveu com rapidez por causa dos novos utensílios fabricados. A confecção de armas mais modernas viabilizou a expansão territorial de diversos povos, o que mudou a face da Europa e de parte do mundo.

Aos poucos, novas técnicas foram sendo descobertas, tornando o ferro mais duro e resistente à corrosão. Um exemplo disso foi a adição de calcário à mistura de minério de ferro e carvão, o que possibilitava melhor absorção das impurezas do minério. Novas técnicas de aquecimento também foram sendo desenvolvidas, bem como a produção de materiais mais modernos para se trabalhar com o ferro já fundido.

Com a possibilidade de obtenção de ferro no estado líquido, nasceu a técnica de

fundição de armas de fogo, balas de canhão e sinos de igreja. Em torno de 1444, o minério de ferro passou a ser fundido em altos-fornos, processo que é usado até hoje. As temperaturas atingidas nesses fornos eram ainda maiores, o que permitia a maior absorção de carbono do carvão vegetal. Isso tornava o ferro e as ligas de aço mais duros e resistentes

A Revolução Industrial iniciada na Inglaterra, no final do século XVIII, tornaria a produção de ferro ainda mais importante para a humanidade. Nesse período, as comunidades agrárias e rurais começavam a perder força para as sociedades urbanas e mecanizadas.

A grande mudança só ocorreu, porém, em 1856, quando se descobriu como produzir aço. Isso porque o aço é mais resistente que o ferro fundido e pode ser produzido em grandes quantidades, servindo de matéria-prima para muitas indústrias.

3.1.2. CENÁRIO BRASILEIRO

Em 2006 o Brasil apresentava um parque produtor de aço com 25 usinas, onde 11 destas eram Integradas e 14 Semi-Integradas, estas eram administradas por 8 grupos empresariais e se espalhavam por 9 estados da federação.

Possuía também uma capacidade produtiva instalada de 37 milhões de toneladas de aço bruto por ano, gerando um faturamento liquido de R$54,4 bilhões e uma arrecadação de impostos de R$10,5 bilhões. Esta produção supria 95% da demanda interna de aço e empregava, entre próprios e terceirizados, 111.557 pessoas.

Com um saldo comercial de US$6,9 bilhões, que representara 15% do saldo comercial do país.

Segundo Junqueira (2007), o Brasil tem os custos mais baixos do mundo na produção de bobina quente e placas de aço, ainda assim só é o décimo maior produtor de aço do mundo, com apenas 3,5% destas.

Abaixo seque um gráfico comparando os custos de produção de chapas de aço com a produção bruta do aço.

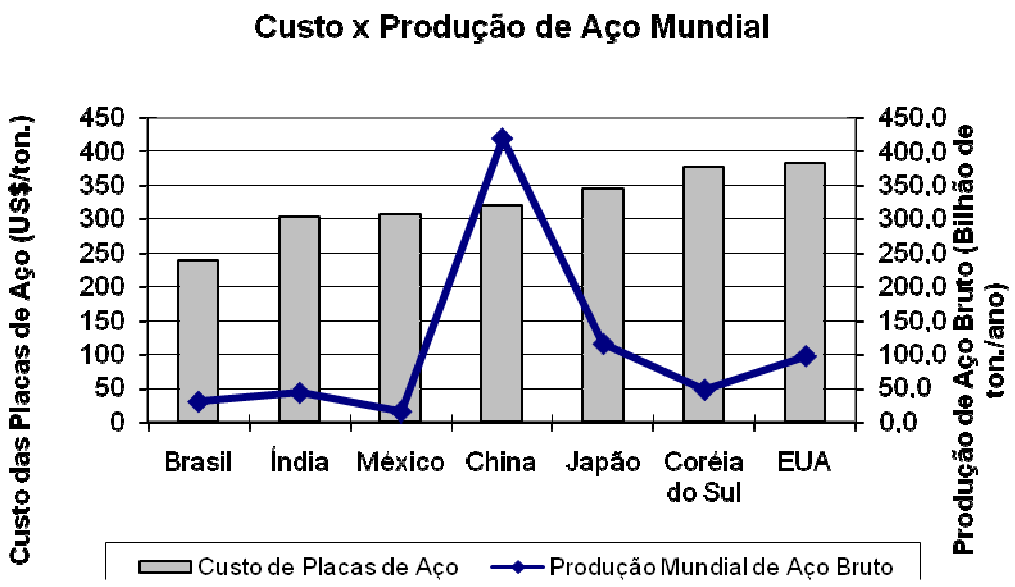


Figura 3.1 – Custos x Produção Mundial

Fonte: Site worldsteel (consulta junho de 2007)

3.2. A EMPRESA

A empresa objeto deste trabalho é fictícia, e fora assim feito para elucidar um caso genérico de modelagem do processo apresentado. Os valores apresentados foram desenvolvidos a partir das literaturas de referência, bem como dos sites de várias siderúrgicas brasileiras. O seqüenciamento fora aproveitado do trabalho de Portilho (2007), onde na tese ele desenvolvera o seqüenciamento ótimo de dez *Jobs* para a siderúrgica em questão.

Esta empresa apresenta basicamente os seguintes setores:

3.2.1. CONVERTEDOR

Nos dois cenários modelados a empresa apresenta três fornos convertedores e estes possuem as seguintes capacidades:

Convertedores	*Capacidade (Toneladas / corrida)*	*Tempo médio por corrida (minutos)*
CV – 1	300	42
CV – 2	400	40
CV – 3	500	38

Tabela 3.1 – Características de processamento, convertedores

3.2.2. REFINO SECUNDÁRIO

No primeiro cenário a empresa apresentara dois fornos para refino secundário – forno panela – com as seguintes capacidades.

Fornos Panela (modelo)	*Capacidade (Toneladas / corrida)*	*Tempo médio por corrida (minutos)*
RH	500	12 à 50
IRUT	500	12 à 50

Tabela 3.2 – Características de processamento, refino secundário

Já no segundo cenário a empresa acrescentou mais um forno panela do tipo IRUT com mesma capacidade de processamento do que ela já possuía.

3.2.3. LINGOTAMENTO CONTINUO

Para o lingotamento contínuo e empresa possuíra duas maquinas com capacidades iguais às dos fornos panela dos quais ela se alimentara.

Lingotamento Contínuo	*Capacidade (Toneladas / corrida)*	*Tempo médio por corrida (minutos)*
LC – 1	500	12 à 50
LC - 2	500	12 à 50

Tabela 3.3 – Características de processamento, lingotamento contínuo

No segundo cenário ela já acrescentou uma terceira máquina de lingotamento contínuo para se alimentar do novo forno panela.

A velocidade de processamento destas máquinas, de lingotamento contínuo, é constantemente ajustada para que não haja uma fila demasiadamente grande e nem que falte matéria-prima para o lingotamento contínuo.

3.3. O ESTUDO

Com o aumento do lucro empresarial sempre em voga, seja ele alcançado com o aumento da fatia de mercado, aumento do valor da mercadoria, redução dos custos de fabricação, ou qualquer outro modo, certamente investimentos devem de ser realizados. Estes devem ser fruto de uma intensa análise em virtude do capital investido e no risco em que a empresa se submete ao conferir mudanças em algumas de suas características, mudanças que por ventura podem resultar em eventos inesperados e destoarem do esperado.

Em virtude disto uma dúvida sempre paira sobre a decisão a ser tomada: "Q*ual a confiabilidade desta?".* Para um maior embasamento nas decisões surgem várias ferramentas matemáticas, estatísticas, com destaque para uma, a simulação computacional.

Sob tais aspectos, este trabalho se propõe a desenvolver uma simulação em ambiente computacional de uma aciaria genérica e realizar comparações entre cenários. O intuito deste modelo é ser utilizado como ferramenta para tomada de decisão nas modificações na unidade fabril em estudo.

Para tal serão consideradas apenas as variáveis de produtividade como: tempos, capacidade de produção, capacidade de estocagem, entre outros. Não serão considerados aspectos mecânicos nem operacionais por fugirem do intuito da proposta, além de tornarem o modelo demasiadamente complexo.

O objeto deste trabalho busca levar aos envolvidos uma ferramenta que aponte os gargalos atuais da unidade e os resultados de modificações na mesma. Modificações estas a serem estudadas como ganho de produtividade da unidade como um todo, detecção de novos gargalos, elucidação da nova capacidade de produção, e assim compará-los com outras modificações e com a situação atual.

Este modelo será desenvolvido no programa SIMULINK, e será elaborado de forma a mostrar os resultados de maneira clara e confiável, apresentará também uma estrutura onde as modificações das variáveis, para mudança de aspectos no modelo, se darão de modo simples.

Assim a principal medida de desempenho do processo será a capacidade produtiva retornada ao fim do estudo do modelo. Com isso será fácil notar o ganho após esta modificação, bem como o comportamento do sistema como um todo.

Sabe-se que o modelo apresentará uma pequena variação dos resultados com os cenários reais, isto ocorrerá em decorrência das variáveis não consideradas no modelo, falhas ou defeitos nos componentes da planta, porém o modelo representará, ainda sim, um cenário confiável para o apoio às tomadas de decisão, fazendo-se valer de seu custo de

desenvolvimento, tempo de resposta, simplicidade, adaptabilidade, domínio das principais variáveis e confiabilidade.

Apesar de ainda estar a cargo dos funcionários da empresa a decisão sobre a modificação, com esta ferramenta serão reduzidos os componentes de incerteza, minimizando assim o risco da decisão ou custosos e demorados estudos “manuais” de seus impactos.

Como já dito, os dados deste modelo foram levantados através da literatura de referência. Após este levantamento será estruturado de um fluxograma, que servirá de base para o modelo inicial. Para o modelo de melhorias serão acrescidas no modelo as máquinas anteriormente citadas, com suas devidas capacidades

Podemos resumir a atuação do modelo computacional na tomada de decisão com o fluxograma abaixo.

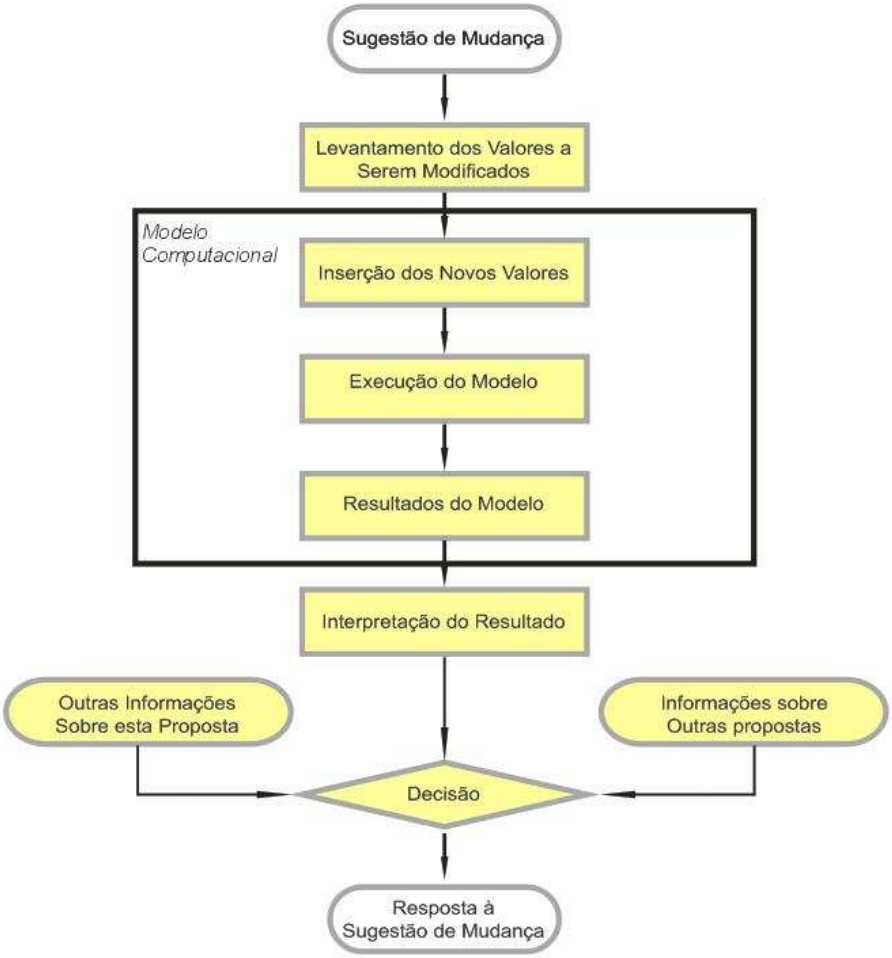


Figura 3.2 – Atuação do Modelo no Processo de Decisão (Pelo autor, 2008)

Por fim, pretende-se com este modelo, atender às especificações já citadas, objetivando retornar aos interessados dados comportamentais do cenário atual e de outros

cenários decorrentes de modificações no processo fabril da aciaria.

Capítulo IV - DESENVOLVIMENTO DO TEMA

4.1. CARACTERÍSTICAS DO MODELO

Para a realização deste modelo fora considerada como foco a capacidade produtiva do macro-processo, partindo daí foram feitas várias simplificações, fazendo com que o modelo trouxesse apenas etapas que contribuíam de forma significativa para o resultado da modelagem, evitando assim a adição de variáveis ou etapas que elevariam a complexidade do modelo sem retornar um significativo acréscimo de confiabilidade.

Outra significativa consideração feita nestes modelos é a de que esta siderúrgica não produz apenas um tipo de aço (liga), e nem os fabrica em mesmo volume. Cabe ressaltar então, que dada esta variabilidade de produção e tempo oriundos de cada especificação do aço, existe uma seqüência ótima para a execução destes. A seqüência utilizada nestes modelos fora desenvolvida por Portilho (2007), conforme já dito, onde neste trabalho fora desenvolvido o seqüenciamento ótimo para a seguinte linha de produção:

Aço Tipo	Elemento (%)			Produção (t)	Nº de Corridas	Rota de Produção			
	C	Mn	Si			1ª	2ª	3ª	4ª
1	0,89	2,74	0,45	2.000	7	CT	CV - 1	RH	MLC - 1
2	0,87	2,70	0,40	3.100	8	CT	CV - 2	IRUT	MLC - 2
3	0,85	2,72	0,43	5.000	10	CT	CV - 3	RH	MLC - 1
4	0,95	2,76	0,47	2.500	8	CT	CV - 1	IRUT	MLC - 2
5	0,92	2,75	0,49	4.000	10	CT	CV - 2	RH	MLC - 1
6	0,88	2,80	0,50	5.500	11	CT	CV - 3	IRUT	MLC - 2
7	0,83	2,78	0,39	2.900	10	CT	CV - 1	RH	MLC - 1
8	0,86	2,85	0,42	4.800	12	CT	CV - 2	IRUT	MLC - 2
9	0,90	2,68	0,52	6.000	12	CT	CV - 3	RH	MLC - 1
10	0,84	2,65	0,55	2.700	9	CT	CV - 1	IRUT	MLC - 2

Tabela 4.1 – Tabela de *jobs* da aciaria

Partindo disto fora considerado o tempo com maior significância para o desenvolvimento do seqüenciamento ótimo, ou seja, os tempos no convertedor e no refinador secundário, pois antes não há diferenciação do aço. Para isto não fora considerada a variabilidade do tempo de processamento, já que dificultaria demasiadamente o seqüenciamento e não teria reflexos significativos no resultado final. Com isto os tempos considerados no algoritmo de seqüenciamento foram os seguintes:

Aço Tipo	Tempo Total de Processamento	
	2ª	3ª
1	279	200
2	275	256
3	348	120
4	384	358
5	430	300
6	458	473
7	372	116
8	502	516
9	463	360
10	361	297

Tabela 4.2 – Tabela de tempos de processamento dos *jobs* da aciaria

Assim o resultado obtido com um algoritmo de *Scheduling* por *Branch & Bound* fora:

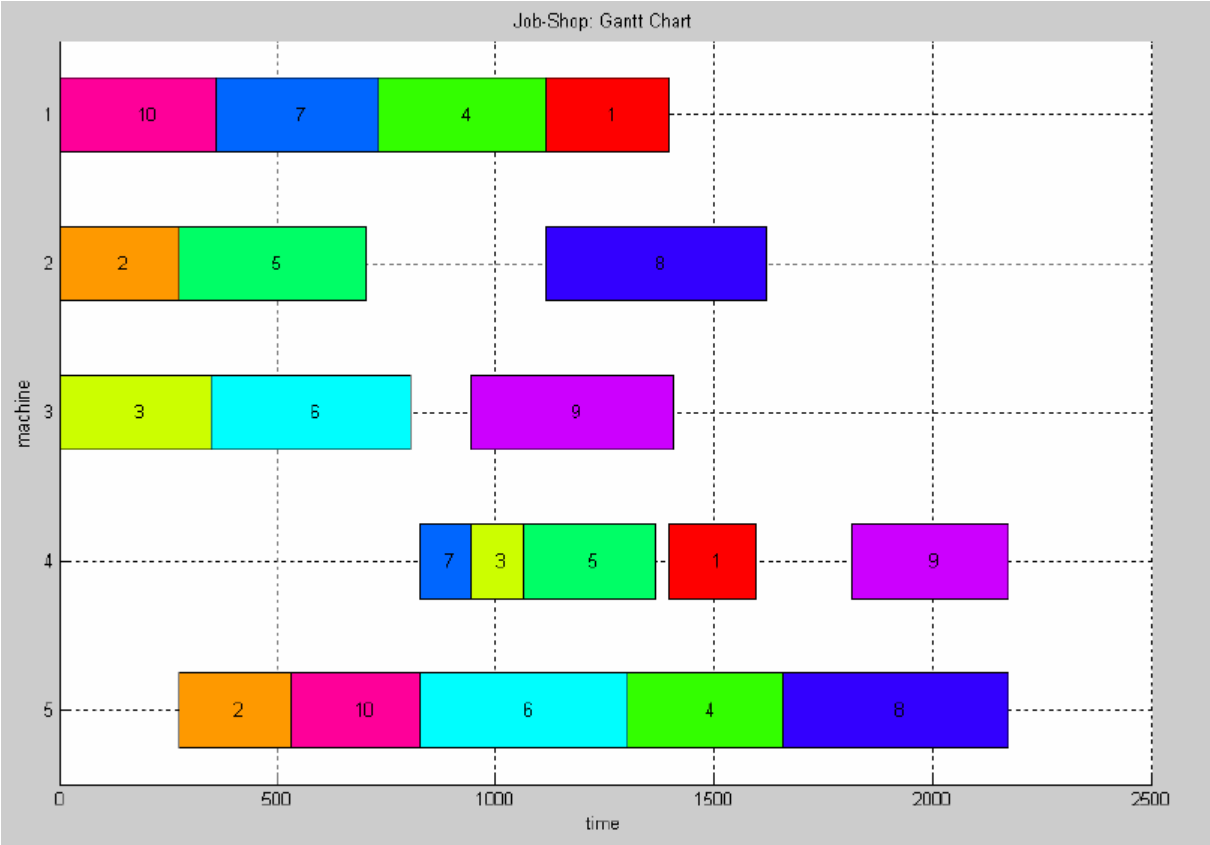


Figura 4.1 – Job-Shop: Gantt Chart

Fonte: Portilho (2007)

Deste ponto, de posse dos tempos e seqüência ótima, o próximo passo foi estipular os limites e variabilidade dos processamentos, bem como a forma desta distribuição. Cabe ressaltar que o modelo executará esta seqüência por inúmeras vezes, podendo transformar esta em uma seqüência sub-ótima.

Adotou-se, para todos os tempos de processamento, a distribuição triangular, por se tratar de uma aproximação da normal, porém sem a possibilidade do sorteio de tempos demasiadamente distantes da moda. Para a moda foram utilizados os tempos propostos por Portilho (2007) e para os limites inferiores e superiores temos:

Aços	Convertedor			Refinador Secundário			Lingotamento Contínuo		
	LI	Moda	LS	LI	Moda	LS	LI	Moda	LS
1	353	361	369	291	297	303	291	297	303
2	269	275	281	250	256	262	250	256	262
3	341	348	355	117	120	123	117	120	123
4	448	458	468	463	473	483	463	473	483
5	364	372	380	113	116	119	113	116	119
6	421	430	439	196	200	204	196	200	204
7	376	384	392	350	358	366	350	358	366
8	453	463	473	352	360	368	352	360	368
9	273	279	285	196	200	204	196	200	204
10	491	502	513	505	516	527	505	516	527

Tabela 4.3 – Tabela de distribuição dos tempos de processamento dos *jobs* da aciaria

A próxima etapa agora é elaborar um modelo simbólico, abrangendo todas as etapas, máquinas e sistemas a serem empregados no modelo computacional, a fim de se verificar a necessidade da adoção de mais variáveis. Este modelo simbólico gerou uma melhor compreensão do modelo a ser criado, modelo este com a descrição que segue no próximo tópico.

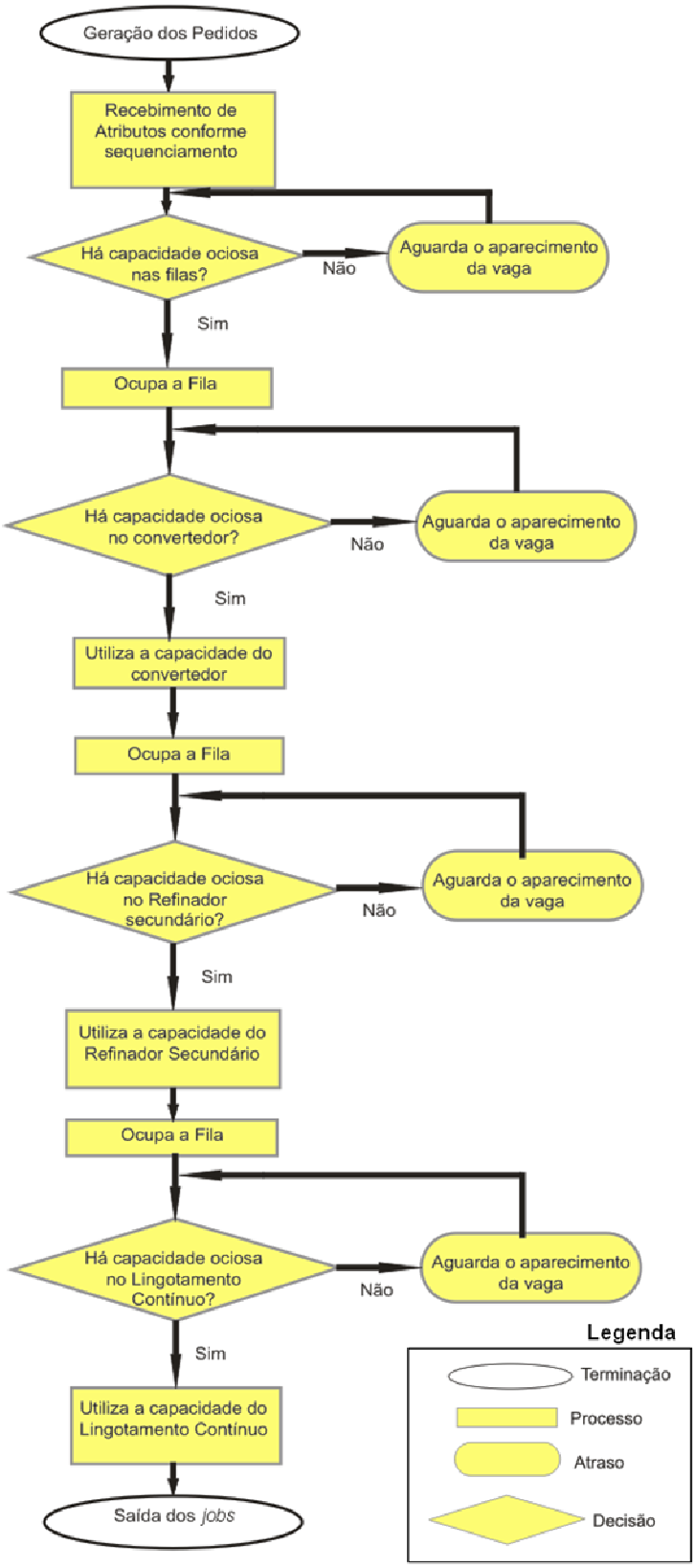


Figura 4.2 – Modelo simbólico

4.1.1. INTERPRETAÇÃO DO MODELO SIMBÓLICO

O modelo deve se iniciar na geração dos pedidos. Serão gerados mais pedidos que a capacidade do processo, a fim de se observar a capacidade de produção, em ambos os cenários, no período de um ano. Após esta geração, as entidades deverão receber os atributos peculiares, referentes ao tipo do aço, prioridade nas filas (dado o seqüenciamento proposto) e tempos de processamento em cada máquina.

Esta entidade entrará na fila subseqüente caso haja capacidade ociosa na fila. Saindo desta as entidades serão roteadas para a fila referente ao convertedor específico. Quando o convertedor apresentar capacidade ociosa, entrará neste servidor a entidade que for escolhida conforme os critérios de seqüenciamento pré-determinados. Após a saída dos convertedores as entidades são novamente reunidas e roteadas para o refinador secundário que lhes foram especificados. Cabe ressaltar que isso só ocorrerá se houver capacidade ociosa na fila, caso não haja a entidade não conseguirá sair do convertedor, “travando” o processo até que surja uma capacidade ociosa na fila.

Na fila do refinador secundário as entidades serão seqüenciadas e aguardarão o surgimento da ociosidade no servidor. Agora as entidades que saem dos fornos não são mais reunidas, elas seguem para o respectivo lingotamento continuo subseqüente ao forno que elas ocuparam. Sua entrada na fila depende da capacidade ociosa desta, que caso não haja, o processo trava a entrada e não libera o forno para um novo processamento.

No lingotamento contínuo o *job* é processado e segue para a expedição.

4.2. MODELOS PROPOSTOS

A seguir seguem modelos computacionais, desenvolvidos no *software SimEvents*, citado anteriormente, utilizados para a simulação dos cenários propostos. Antes da execução dos modelos com os cenários desejados desenvolveu-se um modelo para a análise da lógica a ser utilizada.

Assim neste modelo inicial serviu para garantir solidez à lógica a ser utilizada, sem no entanto trazer resultados experimentais para o desenvolvimento do tema.

4.2.1. MODELO INICIAL

Para a analise da lógica foi gerado um modelo, que representava exatamente o modelo proposto por Portilho (2007) e deste modo comparar os dados já validados com o modelo a

der utilizado. Assim sendo o modelo traz apenas os processos utilizados: convertedores e refinadores secundários. Assim como o processo os tempos foram utilizados conforme o proposto, sem a inserção da variabilidade.

Neste modelo o tamanho das filas foi limitado em duas unidades, já que pela analise dos resultados do seqüenciamento não se espera um valor maior que este. Para esta simulação foi programada apenas as seqüências de *Jobs* considerada no trabalho acima citado.

Este modelo inicial vem representado abaixo e suas saídas serão analisadas a seguir.

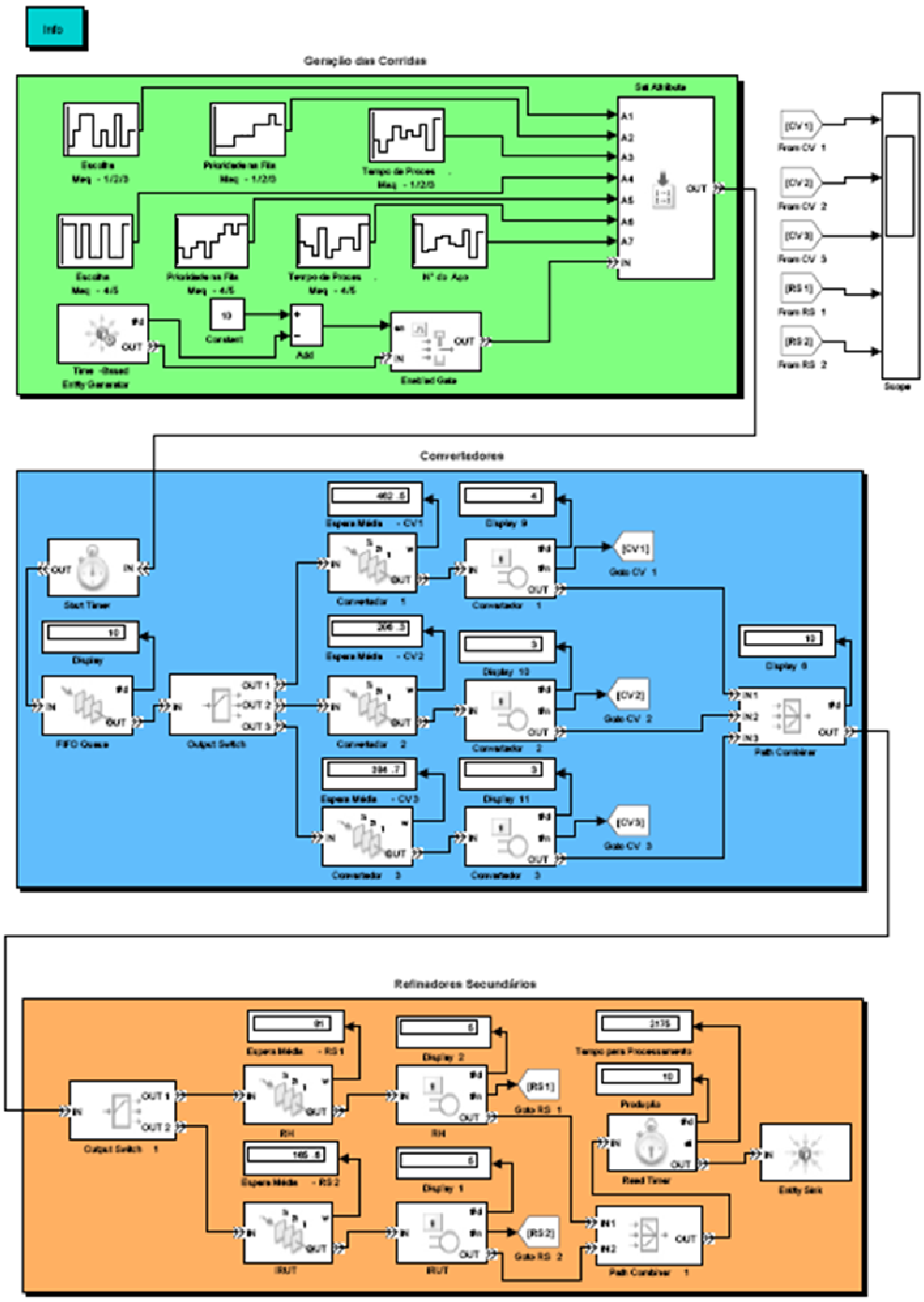


Figura 4.3 – Modelo inicial de simulação

No modelo acima, como foi programado apenas os dez *Jobs*, como já dito, assim o resultado mais decisivo seria o tempo de processamento desta seqüência. Conforme apresentado acima, o valor de dois mil cento e setenta e cinco condiz com o alcançado com o seqüenciamento ótimo.

O tempo médio nas filas varia um pouco do proposto devido à política de processamento. Enquanto no modelo inicial, acima apresentado, os Jobs são executados o mais cedo possível, no seqüenciamento ótimo proposto a política foi de execução o mais tarde possível, porém este fato não interfere na funcionalidade do sistema pois quando forem executados várias seqüências destes dez *Jobs* espera-se com esta política, e outras restrições, executar os processamentos o mais eficientemente possível.

Para um melhor entendimento são descritos a seguir as etapas quem compõem tal modelo.

GERAÇÃO DAS ENTIDADES

Para a geração das entidades foram considerados parâmetros que conferissem aos *jobs* os devidos tempos de processamento, bem como a seqüência ótima planejada. Deste modo as células acima apresentada geram as entidades a serem processadas, assim como atribuem a elas os parâmetro a serem empregados durante a simulação.

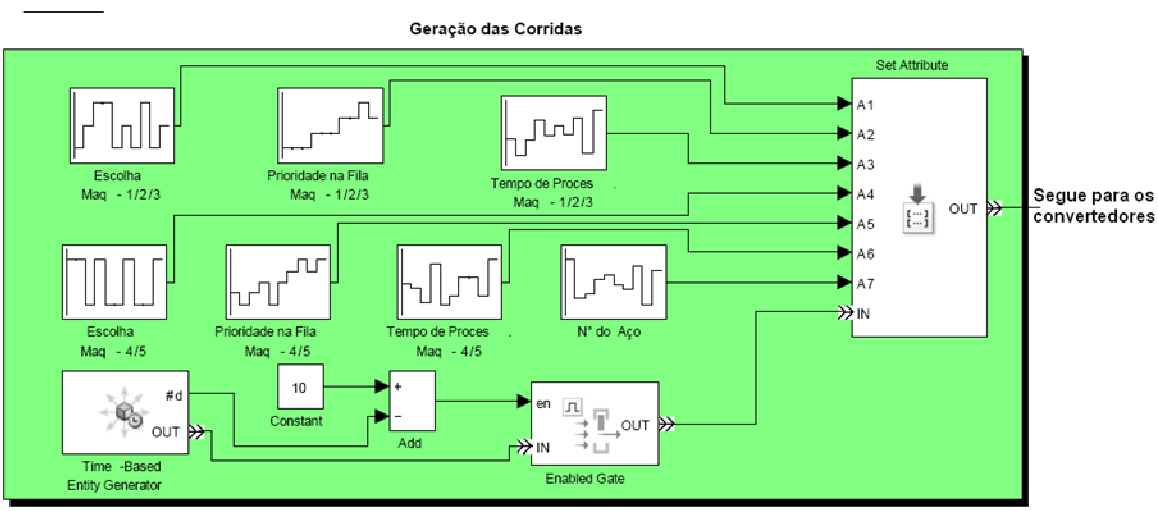


Figura 4.4 – Geração das corridas, modelo inicial

As entidades são geradas na caixa denominada "*Time-Based Entity Generator"* e são geradas uma por vez com o intervalo mínimo para que possam receber os devidos atributos. Como este modelo visa simular apenas a execução dos dez *jobs* e uma vez apenas cada o

caixa denominada “*Enable Gate*” restringe a geração das entidades em dez unidades, ou seja, durante a simulação após a geração de dez unidades esta caixa bloqueia a entrada de mais entidades no sistema.

Na caixa “Escolha Maq – 1/2/3” são gerados parâmetros para o roteamento da entidade para o devido convertedor (convertedor um, dois ou três). Após a designação desta entidade para o devido convertedor as entidades na fila devem ser ordenadas, de forma que seu seqüenciamento de entrada no servidor seja condizente com o seqüenciamento pré-determinado.

Já no servidor a entidade utiliza um de seus atributos como tempo de duração do processamento, este atributo foi gerado na caixa “Tempo de Proces. Maq – 1/2/3”.

A seguir as entidades que saem dos convertedores são novamente reunidas e têm de ser roteadas para a devida estação de refino secundário (forno panela). Para isto ela utiliza de parâmetros gerados pela caixa “Escolha Maq – 4/5” onde ela será enviada para o forno modelo RH ou IRUT conforme as atribuições.

Mais uma vez na devida fila as entidades são novamente seqüenciadas conforme os parâmetros gerados na caixa “Prioridade na Fila Maq – 4/5” e utilizam o valor gerado em “Tempo de Proces Maq – 4/5” para determinar seu tempo de processamento.

Por fim a entidade recebe um número referente à qual tipo de aço esta pertence, variando de um a dez conforme a 4.3.

FORNO CONVERTEDOR

Nesta etapa a entidade passa pela etapa referente aos fornos convertedores, compreendendo três destas máquinas. Nela também são enviados dados para a geração de um gráfico explicitando o número de entidades no servidor, deste modo o gráfico nos apresenta o período em que a unidade estava ocupada e o período com capacidade ociosa. Esta seção do modelo vem apresentada abaixo.

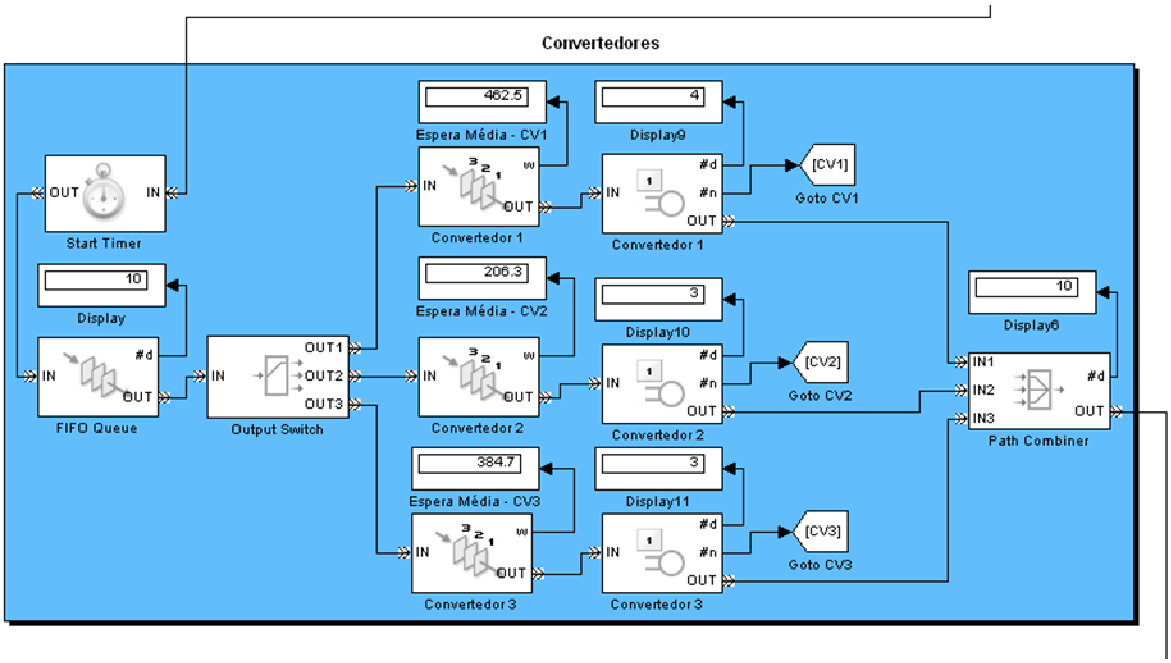


Figura 4.5 – Convertedores, modelo inicial

Ao entrar nesta etapa a entidade aciona um marcador de tempo, assim a primeira unidade que passa dá início á marcação do tempo necessário para todo o processamento de todos os *Jobs*, isto acontece quando esta passa pela caixa "*Start Time*". Logo após a entidade entra em uma fila – "*FIFO Queue*" – que serve apenas como pulmão, desta fila as entidades são enviadas para o devido convertedor, este roteamento acontece na caixa "*Output Switch*" e utiliza, para tal, o valor dos atributos da entidade. Antes de entrar no convertedor a entidade passa por uma fila, que tem a função de seqüenciá-las, garantindo assim a ocorrência do seqüenciamento ótimo.

Em seguida a entidade passa pelo servidor representativo do processamento no forno convertedor – "Convertedor 1" , "Convertedor 2" e "Convertedor 3" – onde o tempo de processamento vem de atributos da entidade específicos. Por fim as entidades são novamente agrupadas pelo "*Path Combiner*" e seguem para a próxima etapa da simulação.

REFINO SECUNDÁRIO

Nesta etapa a entidade passa pela etapa referente aos fornos panela, compreendendo duas destas máquinas, o forno tipo RH e i tipo IRUT, sendo uma unidade de cada. Nela também são enviados dados para a geração de um gráfico explicitando o número de entidades no servidor, deste modo o gráfico nos apresenta o período em que a unidade estava ocupada e o período com capacidade ociosa. Esta seção do modelo vem apresentada abaixo.

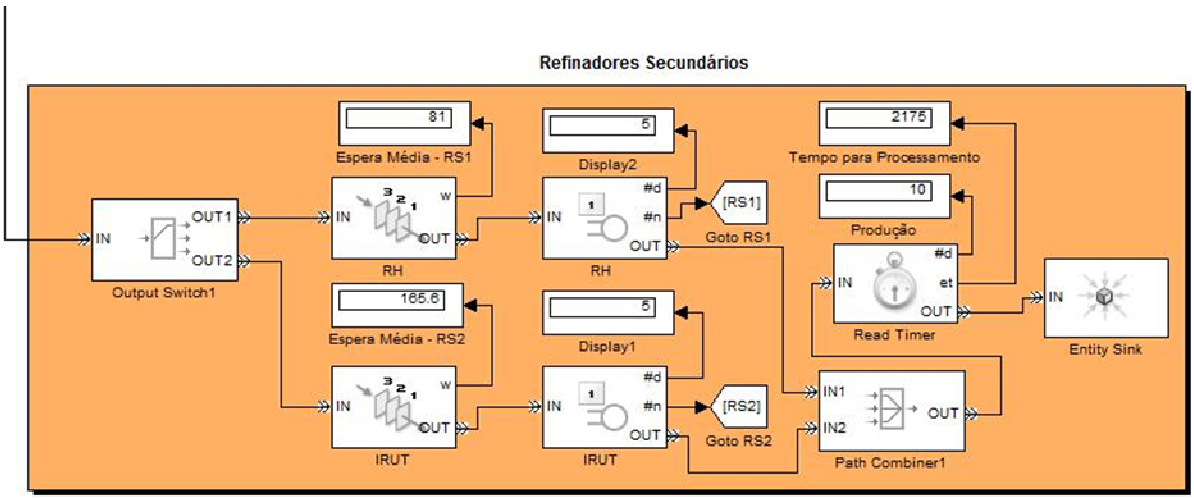


Figura 4.6 – Refinadores secundários, modelo inicial

Ao entrar nesta etapa as entidades são novamente direcionadas para a unidade que lhe é peculiare, roteamento este realizado na caixa "*Output Switch1"*. Logo após a entidade entra em uma fila que ordena-as conforme as especificações do seqüenciamento utilizado, seguindo para as unidades de processamento, "RH" E "IRUT", onde o tempo de processamento é extraído dos atributos de cada entidade. A seguir as entidades são enviadas para o "*Path Combiner1"* onde são agrupadas e são enviadas para a saída do modelo. Antes da saída a entidade ainda passa pelo "*Read Time"*, que registra o intervalo entre a passagem da primeira pelo *"Start Time"* e a ultima pelo *"Read Time",* retornando assim o tempo necessário para a execução dos dez *Jobs*.

4.2.2. MODELO DO PRIMEIRO CENÁRIO

Este modelo se fez a partir do desenvolvimento do Modelo Inicial, conservada sua lógica, porém estendendo o modelo ao lingotamento contínuo e acrescentando variabilidade aos tempos de processamento, buscando o desenvolvimento de um modelo que representasse de maneira fidedigna os processos fundamentais para uma aciaria, bem como observar o comportamento deste seqüenciamento ótimo diante da variabilidade dos tempos de processamento.

Para a simulação neste modelo serão geradas entidades suficientes para a produção referente a um ano (43.200 minutos, referentes á 24 horas por dia e 360 dias por ano), como o cálculo deste número de *jobs* processados no período é o objetivo do desenvolvimento do modelo, serão geradas um número muito maior que o esperável,

garantindo assim uma constante “alimentação” do modelo durante a simulação.

O modelo foi desenvolvido contemplando as fases de: geração das corridas, tempos de processamento, convertedores, refinadores secundários, lingotamento contínuo e expedição, que serão melhor tratados a seguir.

GERAÇÃO DAS CORRIDAS

Nesta etapa as entidades e atributos são gerados basicamente como no modelo anterior, porém devido à variabilidade nos tempos de processamento a geração dos tempos foi desenvolvida em outra etapa.

Como pode ser visto na imagem abaixo foram mantidos os atributos de seqüenciamento, roteamento e especificação. Pode ser observado também que o limite de geração de entidades foi aumentado significativamente.

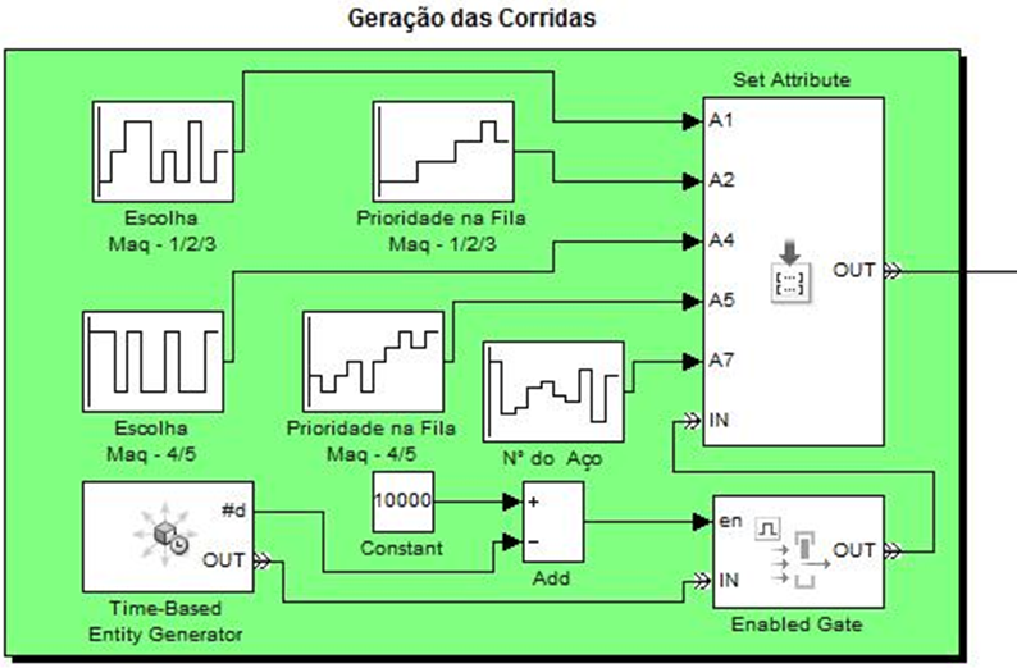


Figura 4.7 – Geração das corridas, modelo 1

TEMPOS DE PROCESSAMENTO

Como já dito para os tempos de processamento foi admitida uma distribuição triangular com moda, limite inferior e limite superior iguais aos da 4.3.Para uma melhor visualização do processo, tanto para o modelo principal quanto para esta geração de dados, os módulos desta geração estão em um subsistema, denominado “Geração dos tempos de

processamento.

Neste subsistema os *Jobs* são rateados conforme as especificações do aço (Aço 1, Aço 2,..., Aço 10) já que cada tipo de aço possui um determinado tempo de processamento, tanto nos convertedores, quanto nos refinadores secundários. Estes dados de tempos de processamento são gerados pelo sistema conforme as especificações de tipo de distribuição (neste caso triangular), moda, limite inferior e limite superior.

Estas partes do modelo vêm apresentadas abaixo para um melhor entendimento.

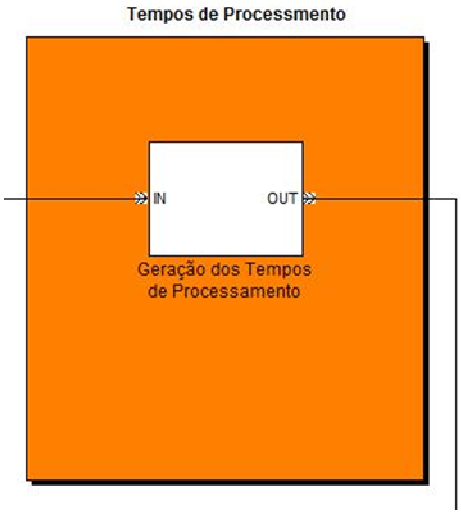


Figura 4.8 – Tempos de processamento, modelo 1

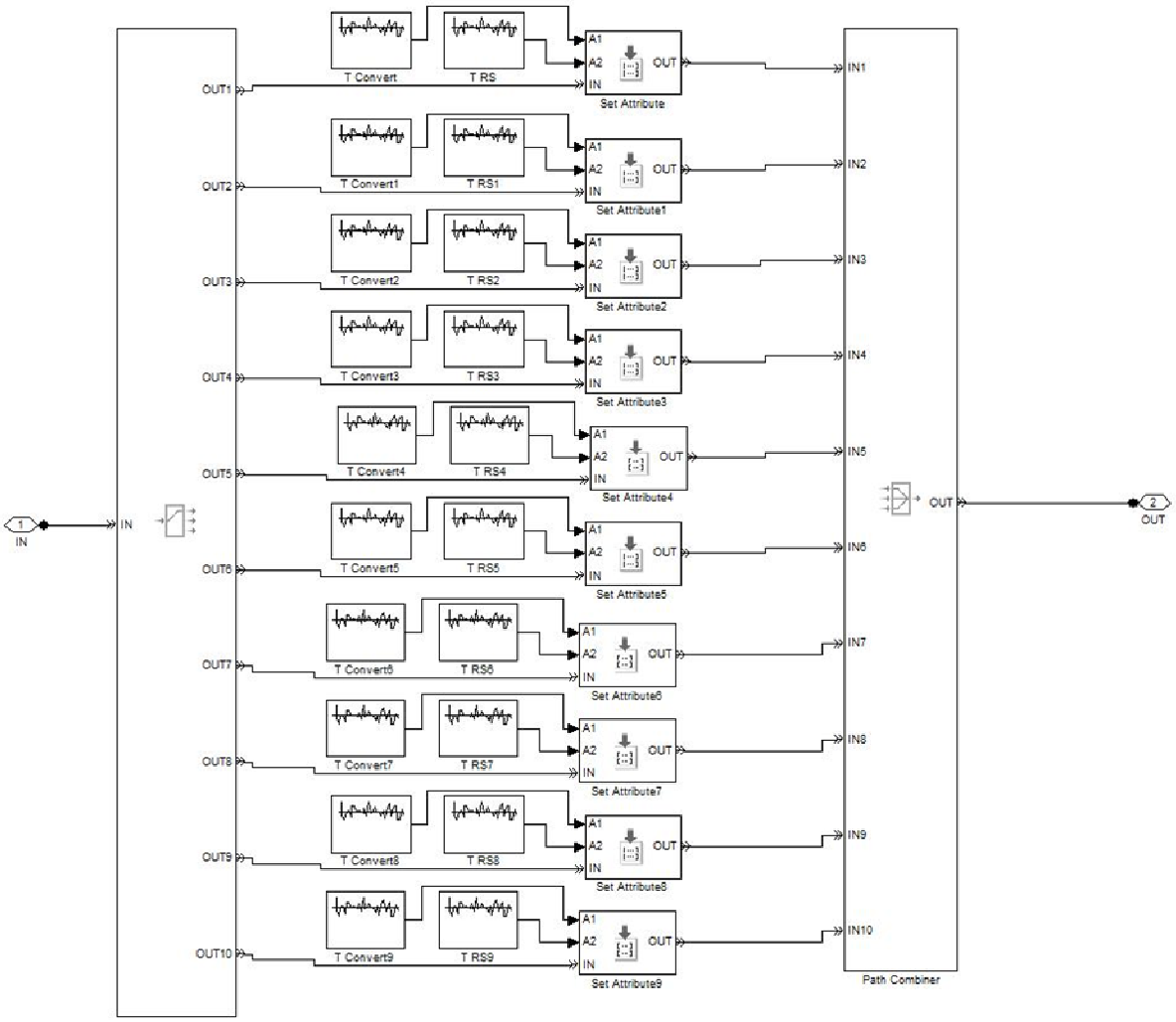


Figura 4.9 – Tempos de processamento - subsistema, modelo 1

CONVERTEDORES

Nesta etapa pouco foi mudado do modelo inicial, já que compreendia parte da lógica, sendo assim o modelo compreende a fila pulmão com capacidade de uma entidade, as fila de seqüenciamento com capacidade para duas entidades e sendo uma fila para cada convertedor, os três convertedores e um módulo para agrupar a produção em um único caminho, como pode ser observado na figura que segue abaixo.

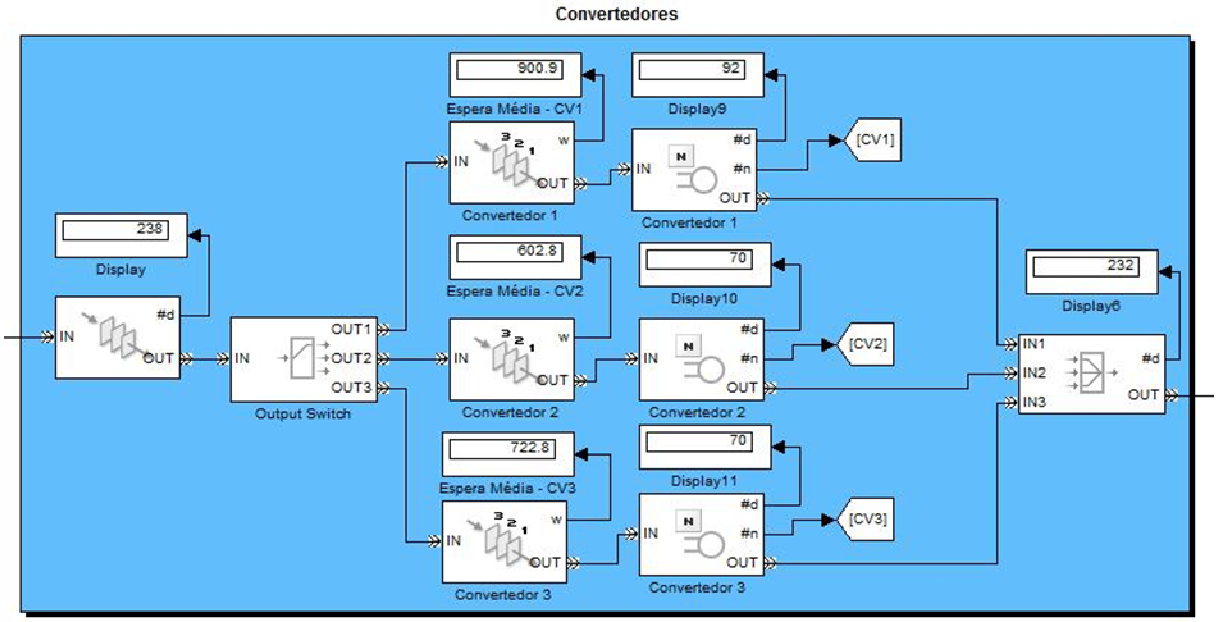


Figura 4.10 – Convertedores, modelo 1

REFINADORES SECUNDÁRIOS

Assim como na etapa anterior, nesta pouco foi mudado do modelo inicial, assim o modelo compreende, os já descritos, roteador, filas de seqüenciamento com capacidade para duas entidades e os servidores. Não há um módulo para agrupar as entidades produzidas nas diferentes estações, pois cada estação envia sua produção diretamente para um lingotamento contínuo específico, compreendendo assim duas linhas de produção que não se cruzam.

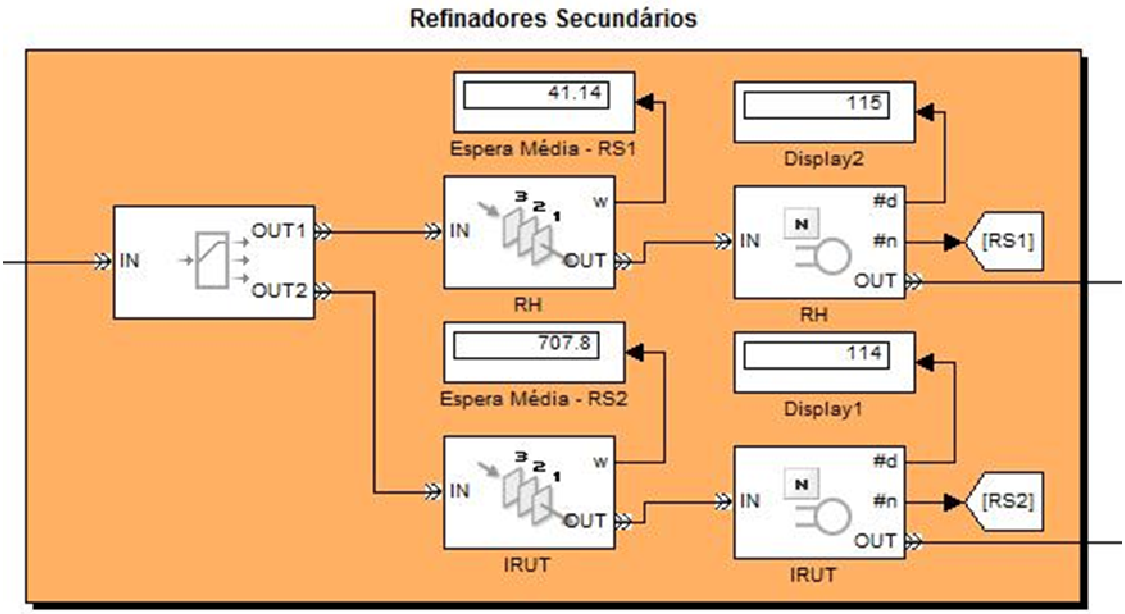


Figura 4.11 – Refinadores secundários, modelo 1

LINGOTAMENTO CONTÍNUO

Como dito acima esta unidade trata de duas linhas de produção separas, como pode ser visto na imagem abaixo.

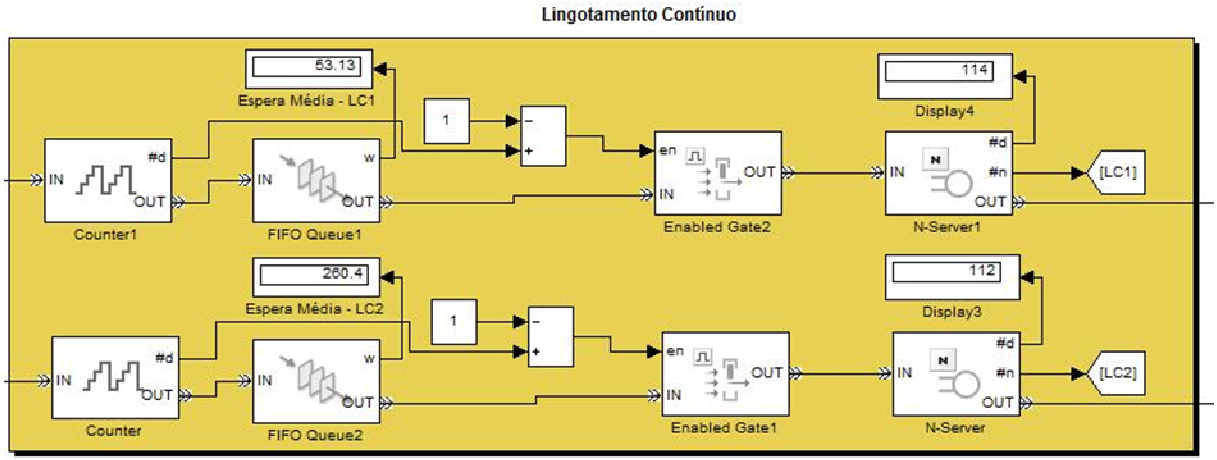


Figura 4.12 – lingotamento contínuo, modelo 1

Esta etapa fora criada para uma melhor representação do cenário da aciaria. A primeira unidade do lingotamento contínuo não segue para máquina enquanto não houver uma segunda na fila, isto para se garantir a existência de fila e não ocorrer capacidade ociosa depois do processamento do primeira lingotamento.

Sendo assim a fila tem capacidade para duas entidades porém espera-se sempre que o tamanho desta não passe de duas e que haja uma o menor tempo possível, tempo este apenas o suficiente para assegurar de que não haverá ociosidade no processamento do servidor. Este tempo de processamento de cada *job* é igual ao tempo de processamento no refino secundário, isto para auxiliar na inexistência de capacidade ociosa do servidor entre os *Jobs*, fazendo-se possível da possibilidade da velocidade de vazamento ser regulável nos processos reais.

EXPEDIÇÃO

Esta etapa consiste apenas no agrupamento das entidades, contagem e saída. Nesta etapa são recolhidos os dados sobre ocupação dos convertedores, dos refinadores secundários e dos lingotadores contínuos para a geração de gráficos

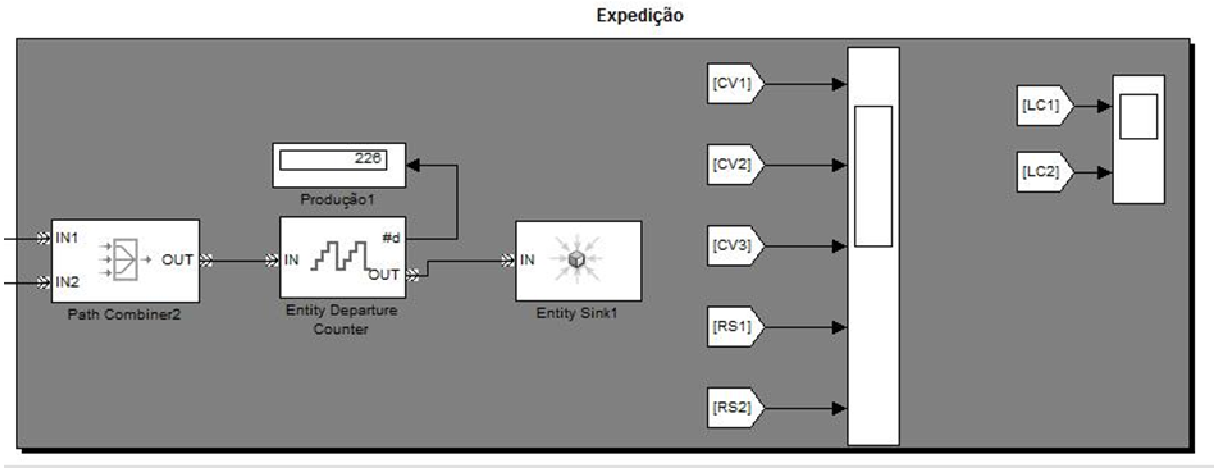


Figura 4.13 – Expedição, modelo 1

4.2.3. MODELO DO SEGUNDO CENÁRIO

Para o segundo cenário foram acrescentados mais um forno panela do tipo IRUT, com mesma capacidade de processamento do existente e uma nova estação de lingotamento contínuo. Para simplificação do modelo não foram gerados novos módulos para os novos componentes, foram apenas alteradas as características dos módulos existentes como mostrado na figura que segue.

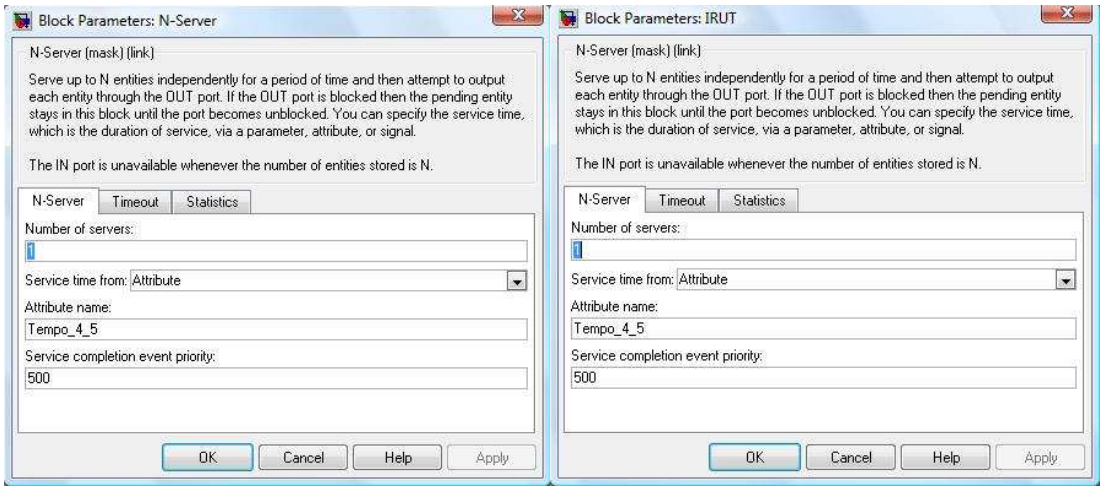


Figura 4.14 – Parâmetros, modelo 2

Deste modo foi alterado o valor referente à "*Number of servers*" de um para dois, assim é como se houvessem dois servidores dentro de cada um destes. Algumas considerações têm de ser ressaltadas para que se possa fazer a modificação de tal modo.

Deve-se considerar os novas unidades com as mesmas características das existentes. Deve-se também considerar que como não há diferenciação nas características de processamento dos *Jobs* destinados para o forno IRUT, podendo tanto ir para as novas estações de processamento quanto para as antes existentes. Considera-se também a mesma política de seqüenciamento proposta, e nestas estações não há política de roteamento, ele simplesmente deve liberar a entidade para primeiro que ficar ocioso. Por fim deve-se considerar a possibilidade do cruzamento das produções dos forno IRUT com as estações de lingotamento que segue, ou seja, não há rigidez quanto ao destino da produção destes fornos, podendo ir tanto para um quanto para outro lingotamento.

Assim podemos apenas realizar as modificações conforme o proposto anteriormente. As imagens do modelo para o segundo cenário seguem abaixo.

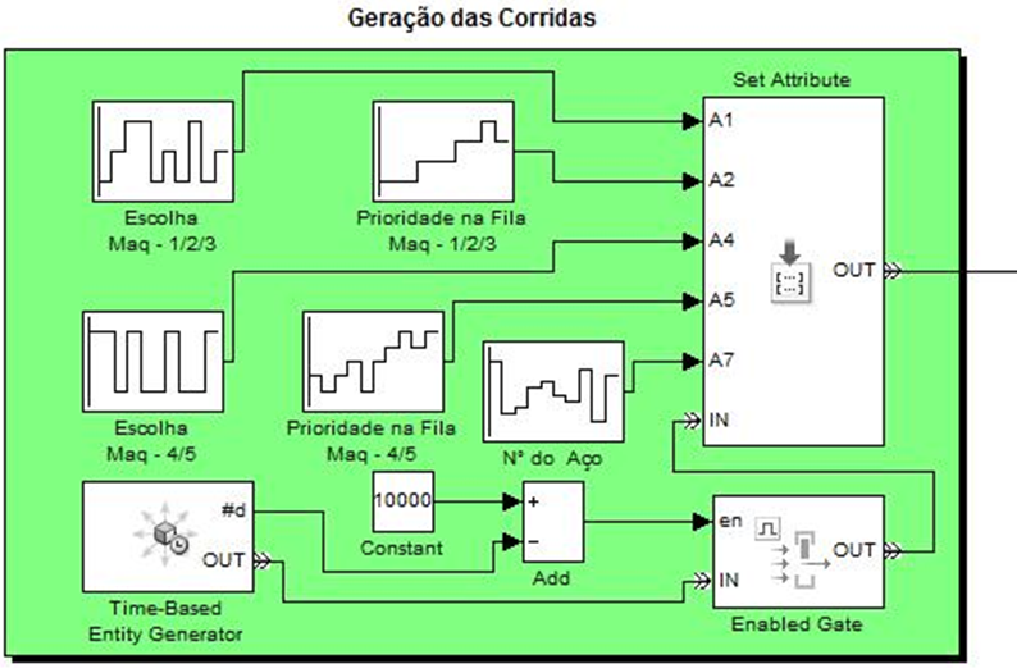


Figura 4.15 – Geração das corridas, modelo 2

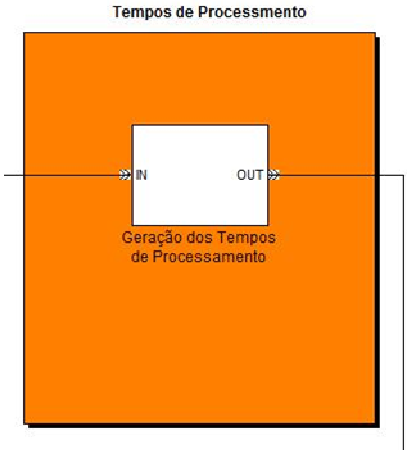


Figura 4.16 – Tempos de processamento, modelo 2

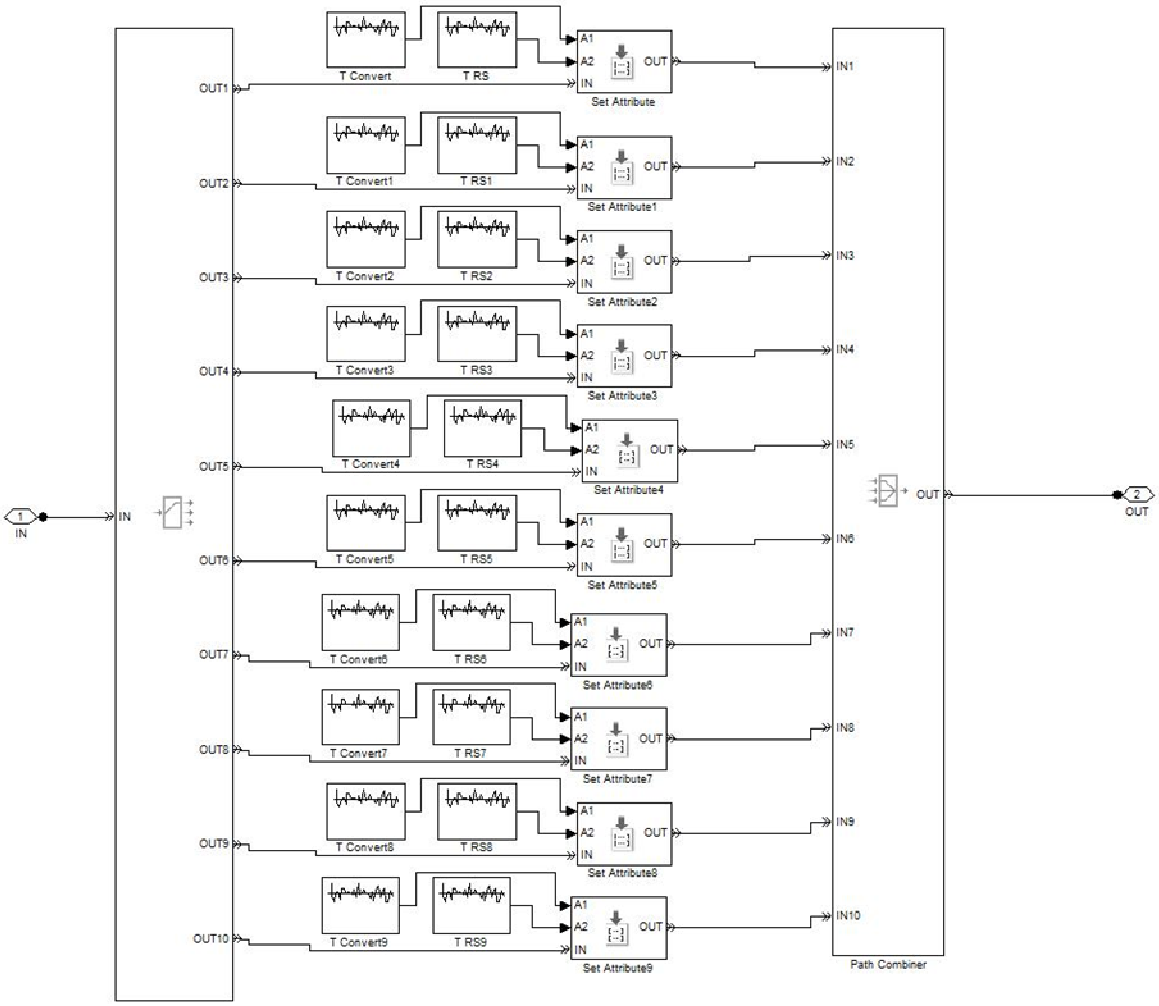
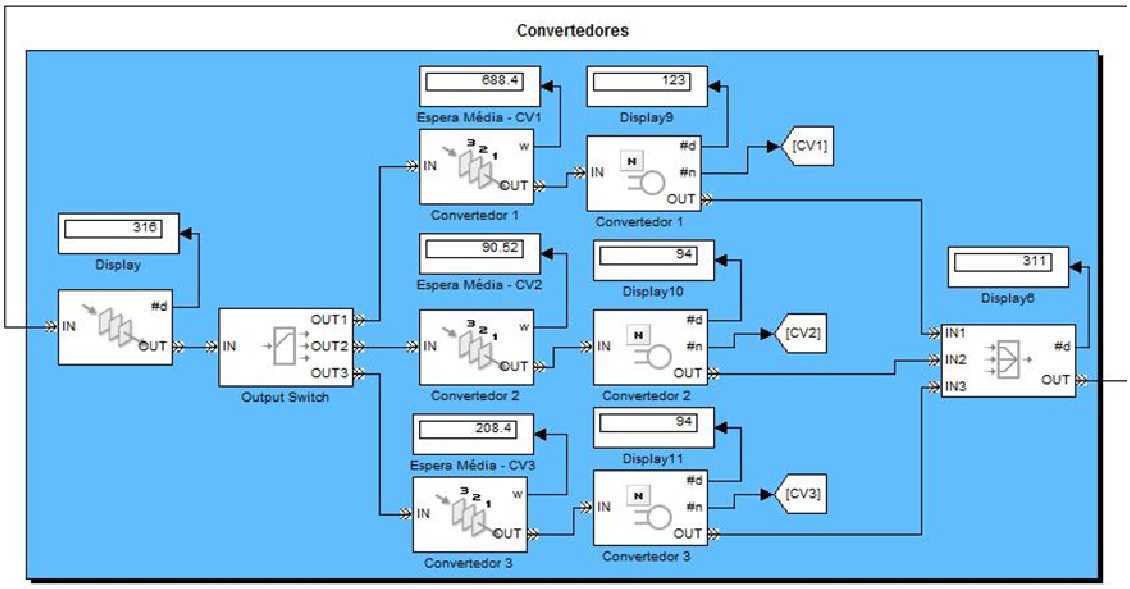


Figura 4.17 – Tempos de processamento - subsistema, modelo 2



F

igura 4.18 – Convertedores, modelo 2

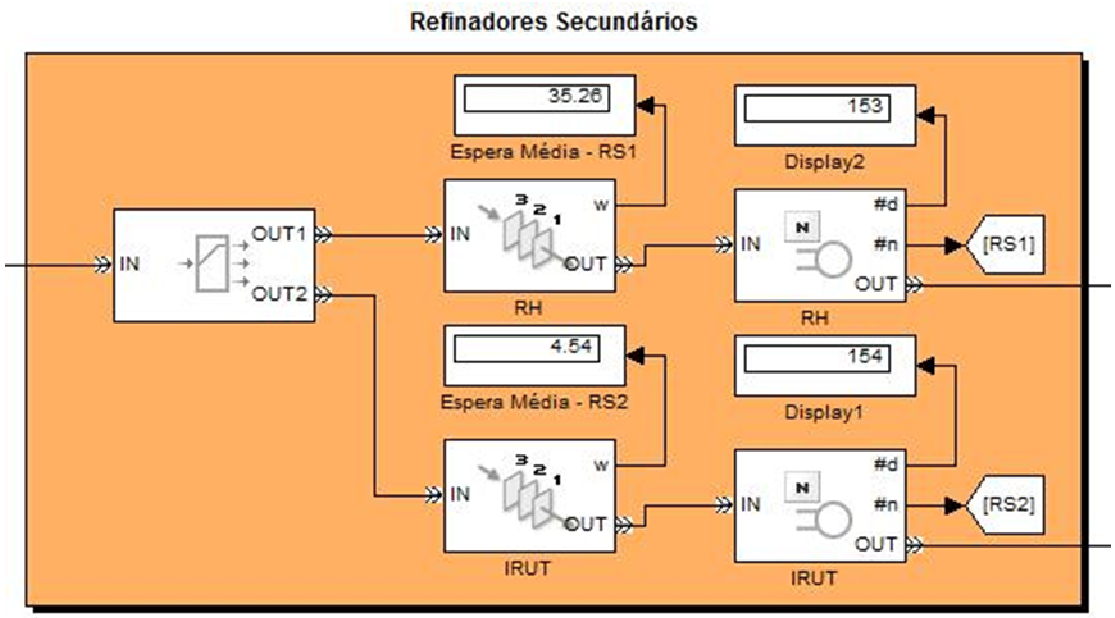


Figura 4.19 – Refinadores secundários, modelo 2

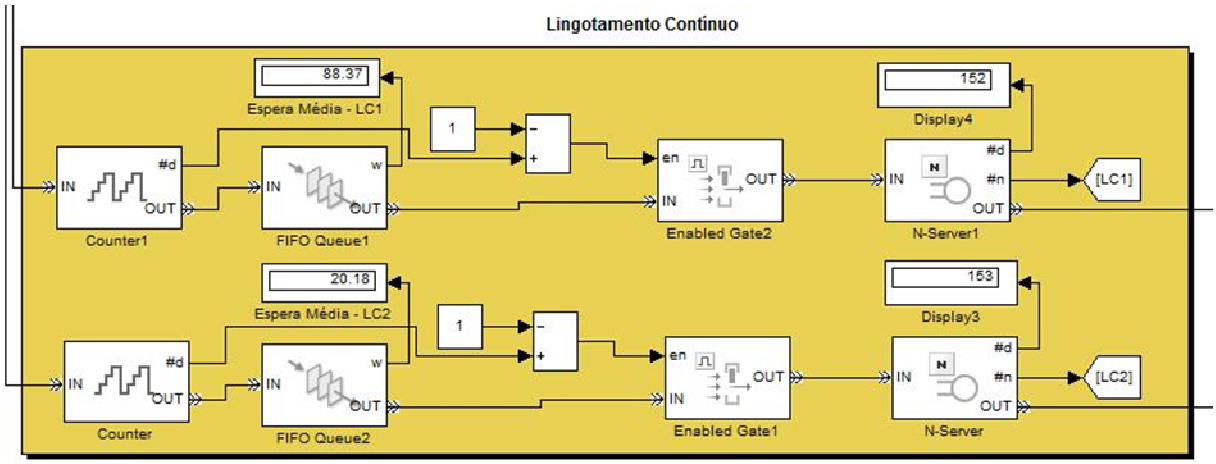


Figura 4.20 – Lingotamento contínuo, modelo 2

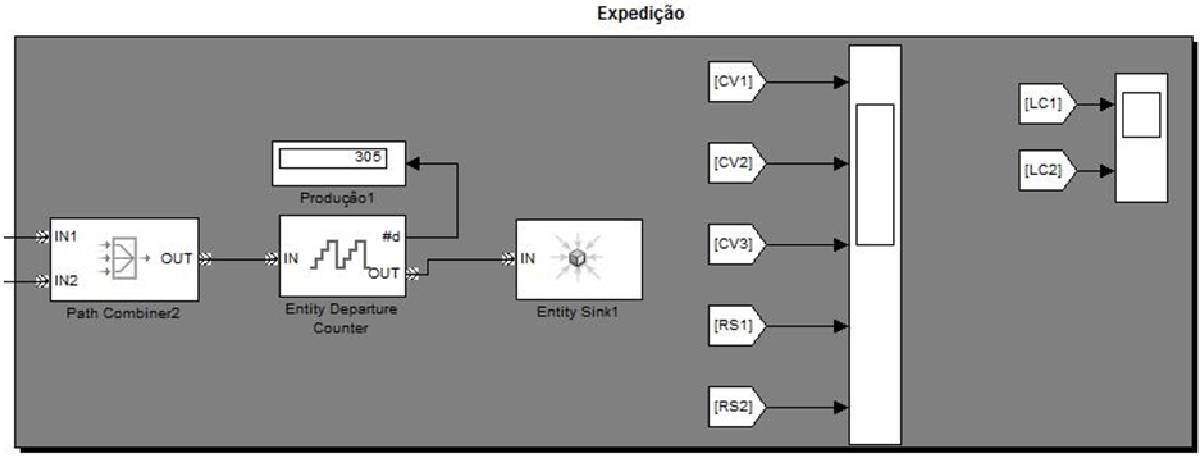


Figura 4.21 – Expedição, modelo 2

4.3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a realização das etapas de concepção e implementação esperava-se realizar agora a validação do modelo, porém por se tratar de um estudo feito com dados desenvolvidos a partir da literatura de referência, e não de uma coleta de dados esta etapa fica impossibilitada. Assim o modelo deve agora passar apenas por uma verificação, analisando as simplificações, considerações e pressuposições realizadas a cerca da concepção do modelo.

Uma forma de julgar a solidez da lógica utilizada é a partir da comparação do seqüenciamento ótimo proposto por Portilho (2007) e o modelo inicial.

4.3.1. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DO MODELO INICIAL COM O SEQÜENCIAMENTO ÓTIMO

Buscando uma comparação entre o modelo inicial e o resultado das experimentações de Portilho (2007) vê-se apenas uma variável para uso nesta comparação: o tempo total de processamento dos *jobs*. Isto porque outras variáveis teriam de vir da análise das saídas das experimentação de *Scheduling*, o que foge do tema deste trabalho.

Mesmo assim a comparação entre as saídas do modelo inicial e do trabalho de seqüenciamento, baseada apenas nesta variável, é suficiente para analisar a lógica a ser empregada neste modelo inicial e nos próximos. Isto diante do fato do seqüenciamento proposto se tratar do seqüenciamento ótimo para estes *jobs*, ou seja, diante das constantes e variáveis de entrada não existe outro seqüenciamento que produza um resultado com menor tempo de processamento.

Dito isto é esperado que um tempo total de processamento deste modelo inicial seja igual ao término da última tarefa no Gráfico de Gantt deste seqüenciamento apenas se o modelo condizer com os preceitos iniciais propostos, assim como o seqüenciamento o fez, já que de outra forma o tempo de processamento deveria ser maior.

Assim sendo podemos dizer que não ocorrem falhas de lógica, nem de processamento no modelo inicial, já que o tempo de processamento dos dez *jobs* é igual ao previsto pelo seqüenciamento ótimo destes.

4.3.2. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS MODELOS ENTRE PRIMEIRO E SEGUNDO CENÁRIO

Com a confirmação da funcionalidade do modelo inicial, foram realizadas então as simulações com os dois modelos seguintes, onde os dados de saída foram reunidos em uma planilha do *Excel* e gráficos comparativos foram gerados. Cabe lembrar que no segundo modelo o Refinador Secundário 2 e o Lingotamento Contínuo 2 são a representação de duas máquinas iguais em uma, ou seja, onde aparecer Refinador Secundário 2 para o modelo 2 leia-se 2 maquinas idênticas com as mesmas características trabalhando juntas, assim com o Lingotamento Contínuo 2.

O primeiro gráfico gerado traz informações sobre a produção das etapas e do processo como um todo. Como a principal unidade de comparação dos modelos é o total de itens produzidos durante um ano de 360 dias, trabalhados 24 horas, podemos ver no gráfico abaixo que o número de itens finalizados no modelo 2 (trezentas e cinco unidades) é significativamente maior que os do modelo 1 (duzentas e vinte e seis), de fato a produção do segundo modelo é cerca de 35% maior que a do primeiro. Ainda sobre os valores apresentados no gráfico é notável o ganho que se teve de um modelo para o outro, em todas as etapas houve um ganho nesta faixa também, de 35%, mostrando assim um significativo ganho no processo como um todo.

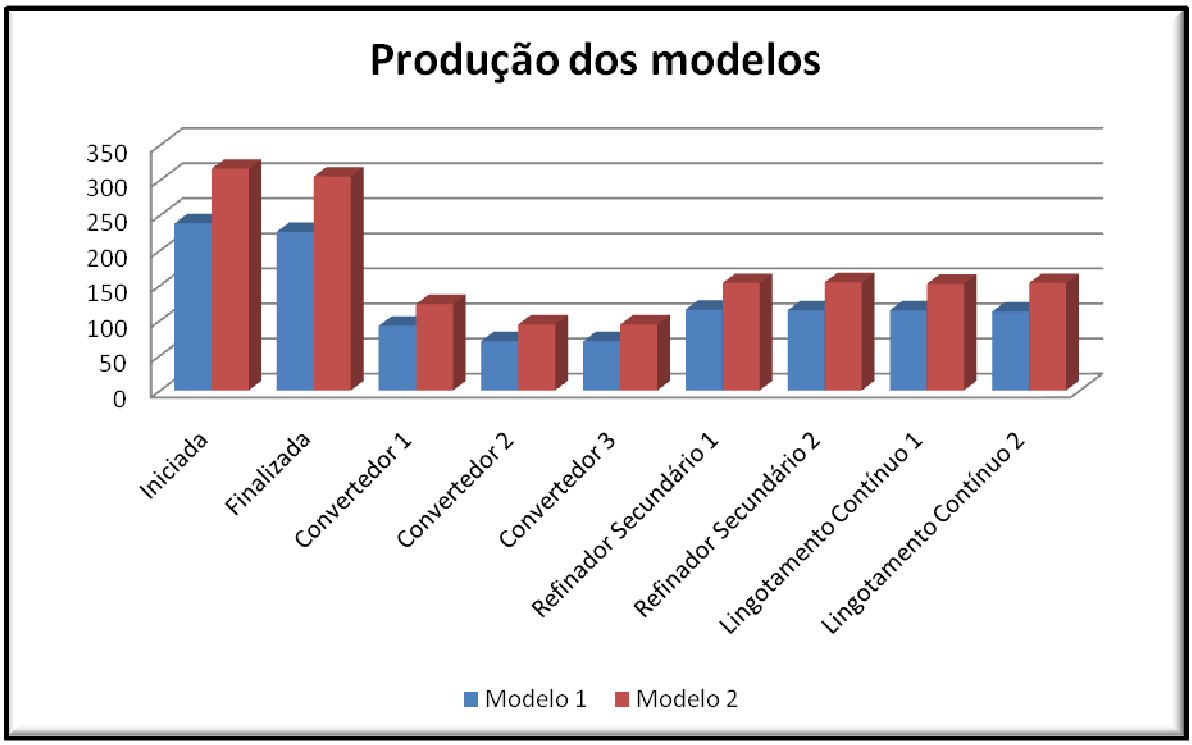


Figura 4.22 – Gráfico comparativo das produções

O próximo gráfico traz valores sobre o tamanho médio das filas. Este dado mostra o quão próximo estão de serem barrados os eventos predecessores da fila, devido o tamanho da fila ser finito e na falta de capacidade ociosa a entidade não sai do módulo de processamento, ocupando de maneira não produtiva o processo anterior. Os resultados apresentados no gráfico abaixo mostram que na maior parte das unidades houve redução do tamanho das filas, isto por se reduzir a ocupação não produtiva dos servidores das primeiras etapas devido o aumento da capacidade do processo nas etapas subseqüentes. Nas etapas que receberam aumento de capacidade produtiva, com a instalação de máquinas de iguais características, é notável a redução do tamanho da fila, reduzindo o tamanho da fila para o Refinador secundário 2 à cerca de 0,6% do valor do primeiro cenário, e à 7,7% no Lingotamento Contínuo 2.

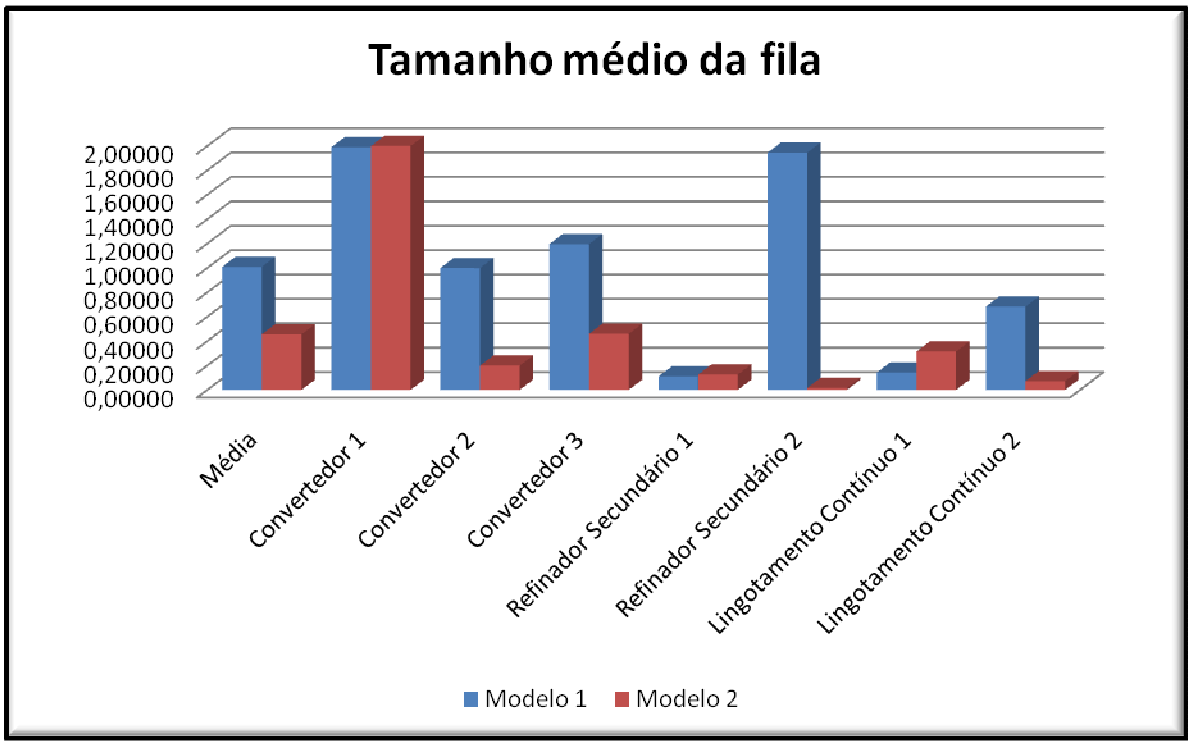


Figura 4.23 – Gráfico comparativo do tamanho médio das filas

Por fim, o ultimo gráfico apresentado é o de tempo médio de espera na fila. Este dado mostra o quanto uma entidade deve esperar para entrar no servidor, e se tratando de uma siderúrgica, quanto maior o tempo de espera entre um processo e outro, maiores são as chances de perda daquela produção, devido à solidificação.

No gráfico fica evidente também a redução nos tempos de espera, excetuando no Lingotamento Contínuo 1, que aumentou devido o aumento de produção das etapas que o precedem, aumento este não gerado pelo aumento de capacidade das unidades, mas de aumento da ociosidade das filas, reduzindo assim a ocupação não produtiva dos servidores.

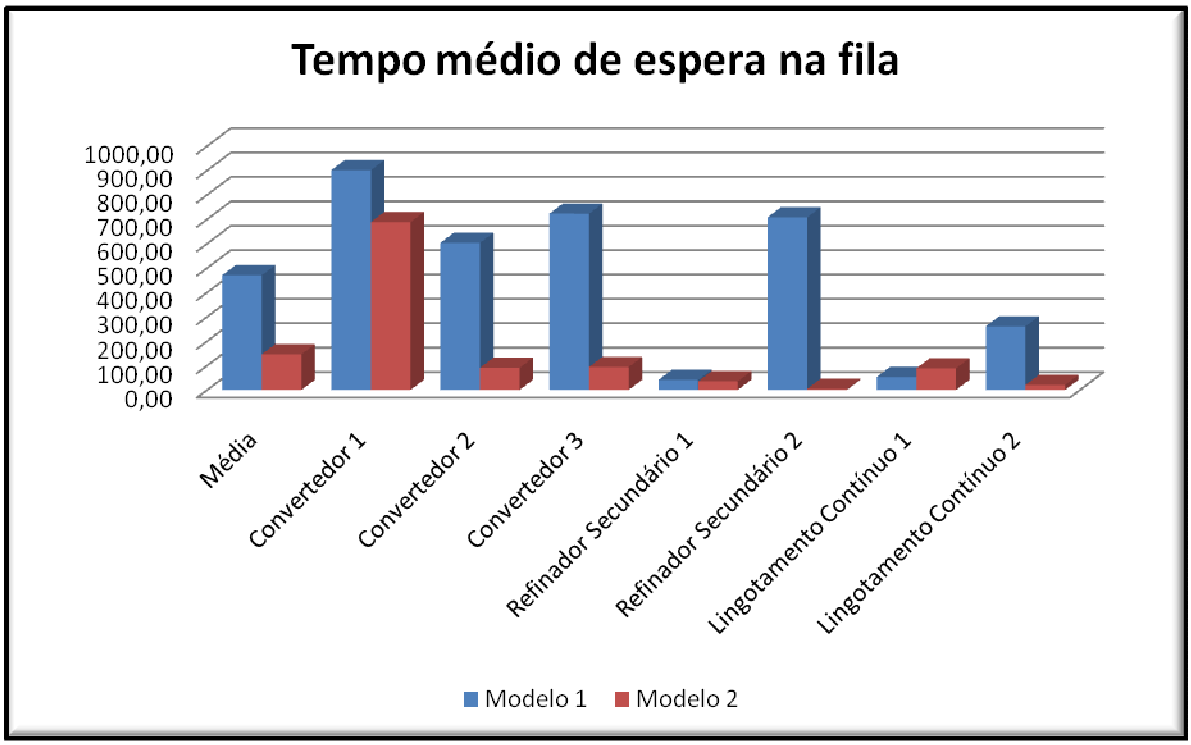


Figura 4.24 – Gráfico comparativo do tempo médio de espera nas filas

Os dados que geraram estes gráficos são encontrados no Anexo 2 e foram obtidos a partir dos modelos de simulação.

CAPÍTULO V - CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a simulação computacional para a análise do desempenho de uma aciaria genérica que acrescentou em sua estrutura um refinador secundário do tipo IRUT e um lingotamento contínuo, onde nesta fábrica são fabricados 10 tipos diferentes de aço, em quantidades diferentes, com tempos de processamento diferentes e sob um seqüenciamento ótimo. Para isto foram considerados os cenários em ambos os momentos, antes e depois do acréscimo das unidades produtivas, e o seqüenciamento ótimo para o modelo inicial. Estes modelos de simulação foram desenvolvidos no *software SimEvents*, que trás ferramentas de modelagem e simulação caracterizadas pela facilidade me manuseio e criação.

A metodologia de trabalho realizada para o desenvolvimento desse se iniciou com a análise de parâmetros utilizados para o desenvolvimento do seqüenciamento ótimo, passando à geração de um modelo de simulação computacional que representasse exatamente o estipulado para a produção deste seqüenciamento, comparação dos resultados, visando a verificação e validação do modelo e chegando à implementação dos modelos para os dois cenários considerados. Por fim se realizou a comparação entre as saídas das experimentações de ambos os cenários.

Nesta fase de concepção e implementação dos modelos utilizados houve dificuldade na estipulação dos parâmetros, dada a intenção de se realizar a modelagem de uma aciaria genérica, devido a diversidade de processos possíveis de realização neste ambiente. Assim tratou-se os dados, constituintes da base para a geração do seqüenciamento ótimo, como realidade absoluta, e partindo destes dados foram estipuladas as variâncias dos tempos de processamento e as características funcionais do lingotamento continuo. Considerou-se também que este seqüenciamento ótimo ainda seria ótimo para os dois cenários estipulados, já que a geração deste seqüenciamento foge do objetivo do trabalho.

Já com relação ao *software* utilizado, o *SimEvents,* houve dificuldade no encontro de uma bibliografia de referência, devido se tratar de um *software* relativamente recente e ainda não muito disseminado por estudiosos de simulação de eventos discretos. Mesmo assim o material disponível no site da fabricante, *Matworks*, foi de grande ajuda, apesar de não apresentar exemplos semelhantes ao modelo a ser utilizado trazia exemplos com a utilização de todas as ferramentas, o que foi de grande auxilio para a elaboração dos modelos computacionais gerados.

Contudo, o programa não possibilitou a realização de algumas análises desejáveis, como a geração de um gráfico de *Gantt* para os resultados obtidos, ou ainda, rastrear os *jobs* durante a simulação, bem como após a execução desta, devido a falta de ferramentas

específicas. Assim, com as ferramentas disponibilizadas pelo *software* algumas analisas só são aplicáveis para um pequeno número de *jobs,* como no modelo inicial apresentado.

Mesmo assim, um aspecto a ser destacado, é que os modelos condizem com os parâmetros gerados (seqüenciamento, capacidade, tempos de processamento) o que possibilitou a análise dos resultados alcançados, e explicitados anteriormente, possibilitando o estudo dos impactos gerados pela modificação na aciaria proposta, de forma condizente com o esperávado em um cenário real.

Com relação a estes modelos propostos e desenvolvidos ao longo do trabalho, a realização de uma análise crítica a cerca destes permite constatar que houve um ganho significativo em todas as variáveis analisadas (produção em um período de ano, tamanho médio das filas e tempo médio de espera nas filas). Cabe ressaltar também que foi alcançada uma flexibilidade satisfatória aos modelos, sendo então relativamente simples a adequação destes às capacidades de ambientes similares do cenário real com os modelos propostos. Sendo assim necessário pouco esforço para adequar estes modelos à um cenário real ou a um terceiro cenário gerado.

Por fim, diante das propostas deste trabalho e das dificuldades encontradas pode-se concluir que a simulação computacional de uma aciaria, realizada no *software* empregado, mostrou-se uma ferramenta viável e que alcançou os objetivos esperados, atingindo o propósito inicial de retornar o comportamento dos ambientes diante das modificações propostas. Bem como, pode-se garantir um significativo aumento da produção diante dos cenários e modificações considerados no trabalho.

BIBLIOGRAFIA

COMPAHNIA SIDERURGICA DE TUBARÃO, http://www.arcelor.com/br/cst/ (consulta, outubro de 2008).

GOMES, C.; *Belgo 50 e Belgo 60*. 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA, http://www.ibs.org.br/index.asp (consulta, maio de 2008).

INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE, http://www.worldsteel.org/index.php (consulta, maio de 2008).

JUNQUEIRA, A. M.; Tendências da Siderurgia – Seminário Internacional de Aciaria – maio de 2007.

MEDINA, A.C.; CHWIF, L.; 2007, *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e aplicações.* 2. ed. São Paulo: Bravarte.

PORTILHO, L.M.P.; 2007, Aplicação do problema de job-shop Scheduling em aciarias

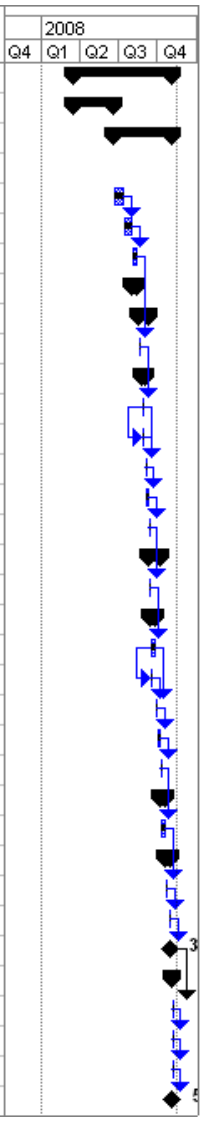
SERGIO; A. F. et al..; 2005, Projeto de Auto-Fornos – Belgo Arcellor Brasil – EMEPRO – julho de 2005.

SEVERO, B.; 1999, *Curso de Simulink 2.0*: Modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos. 1. ed. Rio de Janeiro.

ANEXOS

1. ANEXO 1 – CRONOGRAMA GERAL

ID		Task Name	Duration	Start
1	✓	**Cronograma de Trabalho - Douglas Maia**	**168 days**	**Mon 17/3/08**
2	✓	**Cronograma para o Memorial de Qualificação**	**69 days**	**Mon 17/3/08**
22	✓	**Cronograma para o TCC**	**99 days**	**Fri 20/6/08**
23	✓	**Estudos Revisionais**	**40 days**	**Fri 20/6/08**
24	✓	Estudos Sobre as Etapas da Aciaria	15 days	Fri 20/6/08
25	✓	Estudo sobre as Funções do SimEvents	15 days	Fri 11/7/08
26	✓	Revisão do Memorial	10 days	Fri 1/8/08
27	✓	**Portifólio**	**10 days**	**Fri 1/8/08**
29	✓	**Estudos Preliminares**	**17 days**	**Mon 18/8/08**
30	✓	Detalhamento dos Processos de uma Aciaria	5 days	Mon 18/8/08
31	✓	**Estruturação do Modelo Simbólico**	**6 days**	**Mon 25/8/08**
32	✓	Elaboração de um Fluxograma do Processo	5 days	Mon 25/8/08
33	✓	Levantamento das Variaveis do Sistema	3 days	Mon 25/8/08
34	✓	Comaração com os Dados do Sequenciamento Ótimo	1 day	Mon 1/9/08
35	✓	Desenvolvimento do Modelo Inicial	5 days	Tue 2/9/08
36	✓	Comparação dos Resultados	1 day	Tue 9/9/08
37	✓	**Desenvolvimento dos Modelos**	**21 days**	**Wed 10/9/08**
38	✓	Caracterização dos Cenários	2 days	Wed 10/9/08
39	✓	**Implementação dos Modelos**	**10 days**	**Fri 12/9/08**
40	✓	Implementação do Modelo 1	10 days	Fri 12/9/08
41	✓	Implementação do Modelo 2	2 days	Fri 12/9/08
42	✓	Verificação e Validação dos Modelos	3 days	Fri 26/9/08
43	✓	Experimentação	4 days	Wed 1/10/08
44	✓	Estruturação dos Dados da Saida dos Modelos	2 days	Tue 7/10/08
45	✓	**Estudos Comparativos**	**7 days**	**Thu 9/10/08**
46	✓	Análise Comparativa dos Rendimentos Apresentados nos Model	7 days	Thu 9/10/08
47	✓	**Memorial**	**10 days**	**Mon 20/10/08**
48	✓	Elaboração	5 days	Mon 20/10/08
49	✓	Revisão	5 days	Mon 27/10/08
50	✓	Entrega	0 days	Fri 31/10/08
51	✓	**Apresentação**	**3 days**	**Mon 3/11/08**
52	✓	Elaboração	2 days	Mon 3/11/08
53	✓	Revisão	1 day	Tue 4/11/08
54	✓	Ensaio	1 day	Wed 5/11/08
55	✓	Apresentação Final	0 days	Wed 5/11/08



2. ANEXO 2 – SAÍDAS DO MODELO

	Modelo		Razão entre M2/M1
	Modelo 1	Modelo 2	
Produção iniciada	238	316	132,8%
Produção Finalizada	226	305	135,0%
Produção CV1	92	123	133,7%
Produção CV2	70	94	134,3%
Produção CV3	70	94	134,3%
Produção RS1	115	153	133,0%
Produção RS2	114	154	135,1%
Produção LC1	114	152	133,3%
Produção LC2	112	153	136,6%
Espera média - Média	469,85	145,90	31,1%
Espera média - Fila CV1	900,90	688,40	76,4%
Espera média - Fila CV2	602,80	90,52	15,0%
Espera média - Fila CV3	722,80	94,00	13,0%
Espera média - Fila RS1	41,14	35,26	85,7%
Espera média - Fila RS2	707,80	4,54	0,6%
Espera média - Fila LC1	53,13	88,37	166,3%
Espera média - Fila LC2	260,40	20,18	7,7%
Tamanho médio - Média	1,00946	0,45548	45,1%
Tamanho médio - Fila CV1	1,99000	2,00000	100,5%
Tamanho médio - Fila CV2	0,99940	0,19940	20,0%
Tamanho médio - Fila CV3	1,19600	0,45960	38,4%
Tamanho médio - Fila RS1	0,11050	0,12610	114,1%
Tamanho médio - Fila RS2	1,94600	0,01642	0,8%
Tamanho médio - Fila LC1	0,14200	0,31470	221,6%
Tamanho médio - Fila LC2	0,68230	0,07213	10,6%