

4

O Problema de Seqüenciamento Diário de Produção no Laminador de Tiras a Quente (PSDPLTQ) da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST)

4.1

Estudo de Caso – Descrição da empresa

Conforme mencionado anteriormente, este estudo foi desenvolvido em uma usina siderúrgica integrada a coque de grande porte, a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), localizada no município de Serra, na região da grande Vitória, Estado do Espírito Santo. A CST é a segunda maior empresa siderúrgica brasileira (dados de 2000) e em 2001 chegou a ser considerada a primeira, devido ao desligamento dos altos-fornos da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) para a realização de suas manutenções. Além disto, a CST é líder mundial no mercado de placas de aço e detém cerca de 20 % desse mercado, o que correspondeu a 4,75 milhões de toneladas produzidas no ano de 2001. Outro dado importante a ser ressaltado é que, segundo Abrahão (2000, p.7), a CST possui um dos mais baixos custos de produção de aço líquido do mundo.

4.2

Produtos

Atualmente, a CST produz apenas placas de aço através do processo de lingotamento contínuo. Suas carteiras de pedidos são compostas por dezenas de clientes – na grande maioria estrangeiros - que demandam placas de aço com comprimentos entre 5000 e 12500 mm, larguras entre 750 e 2100 mm, espessuras de 200, 225 ou 250 mm e várias composições químicas, o que significa uma enorme gama de produtos diferentes. A partir do segundo semestre de 2002, com o previsto *start up* do LTQ, a empresa passará a produzir também BQs, cujas carteiras de pedidos serão compostas na grande maioria por clientes internos, ao contrário das placas de aço, ou seja, a empresa conquistará um novo ‘nicho’ que é o mercado de varejo. O número de clientes de BQs será maior que o de placas e, na maioria das vezes, a tonelagem de aço demandada por cliente de BQ será bem

menor do que a de cada cliente de placa. Além disso, com espessuras variando entre 1,00 e 16,00 mm, larguras variando entre 700 e 1880 mm, várias diferentes composições químicas e resistências mecânicas, observa-se que no LTQ a gama de diferentes produtos também é grande (da ordem de centenas), o que se traduz em um grande desafio para o Planejamento e Controle de Produção (PCP), assunto este que será detalhado mais adiante.

4.3 Descrição do processo produtivo CST

Assim como na maioria das usinas siderúrgicas, o processo de produção de aço na CST também é dividido em quatro abrangentes etapas: preparação do minério e do carvão; redução do minério de ferro; refino e conformação mecânica. A Figura 4.1 mostra um fluxograma simplificado de todo o processo produtivo da CST, desde o recebimento de minério e carvão, até a produção de placas de aço e BQs obtidas no LTQ.

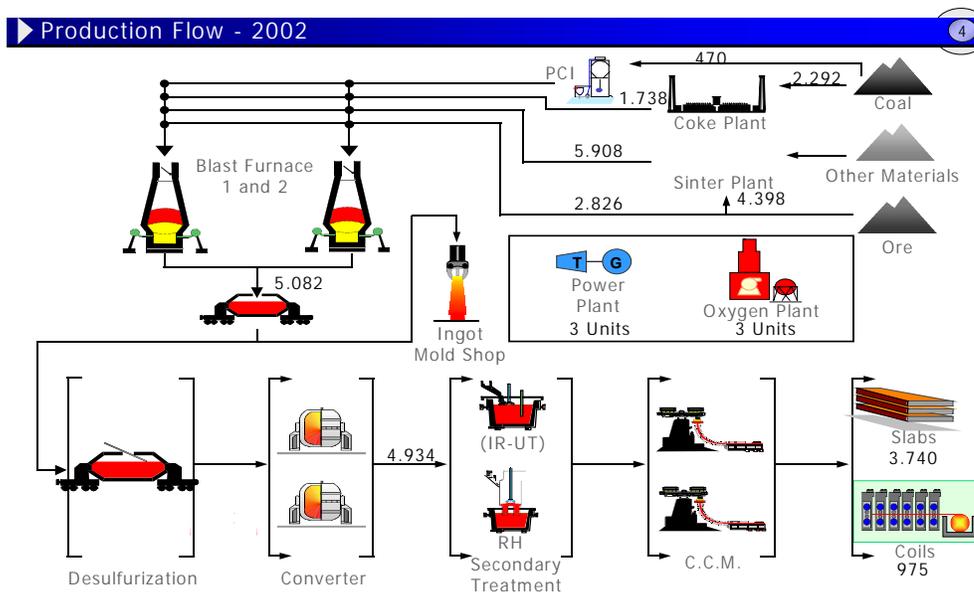


Fig. 4.1 – Fluxograma de todo o processo CST previsto para 2002
Fonte: CST

Não há necessidade de detalhar as etapas de preparação do minério e do carvão, nem de redução do minério de ferro, visto que tais etapas não possuem peculiaridades relevantes e foram descritas no Capítulo 2. Além disso, elas não interferem no planejamento e seqüenciamento da aciaria e da conformação mecânica (LC + LTQ).

O ferro gusa líquido proveniente de um dos dois altos-fornos (AF1 e AF2) é vazado em um dos dois convertedores L&D, onde é feito o refino primário. Cada um dos convertedores L&D possui uma capacidade de 310 toneladas de aço em cada tratamento, o que corresponde à capacidade média de uma ‘corrida’ de aço (lote de produção) na aciaria. Os pedidos de produção de aço na CST são agrupados em corridas de 310 toneladas, que podem atender a um ou mais clientes com pedidos de composição química (grau) idênticos, dependendo do tamanho de seus pedidos. É importante ressaltar que em uma única corrida só entram pedidos com grau idêntico, pois não há como misturar graus em uma mesma.

Os equipamentos secundários na aciaria (painéis e distribuidores) também são dimensionados segundo a capacidade dos convertedores, ou seja, foram projetados para trabalhar com volume de produção de 310 toneladas por corrida.

Após precipitar a escória e realizar o sopro de oxigênio em um convertedor L&D, a corrida de aço líquido é vazada em uma panela de aço e, caso já esteja totalmente pronto no L&D, pode ir direto para uma das MLCs (MLC1 ou MLC2) - que serão detalhadas mais adiante -, ou ainda passar por um dos dois refinamentos secundários (IRUT ou RH), dependendo do tipo de aço.

Determinados tipos de aço com requisitos especiais deverão passar ainda em um dos dois equipamentos de refino secundário. Nesse caso, o processo é o seguinte: o composto metálico líquido proveniente do convertedor L&D, que agora já é aço (porém ainda requerendo ajustes finos de temperatura, composição química e impurezas), é conduzido pela panela até a ‘um dos’ dois equipamentos especiais de refino secundário existentes na aciaria da CST, que são o *injection refining up temperature* (IRUT) e o *vacuum degassing Ruhrstahl-Heraeus* (RH), onde são feitos os referidos ajustes. Este tipo de refino também é chamado de ‘metalurgia de panela’. O IRUT faz o ajuste fino de temperatura e composição química e o RH faz a ‘degaseificação a vácuo’ do aço, o que permite a CST produzir aços de elevada pureza com teores de carbono muito baixos (menores que 30 ppm), agregando maior valor ao aço produzido. Um determinado tipo de

aço com exigência de tratamento secundário passa em um, ou em outro, equipamento de refino secundário e, nunca, nos dois.

Terminada a etapa de refino exigida para o aço, a panela de aço contendo a corrida segue para uma das duas MLCs (MLC1 ou MLC2), onde será iniciada a etapa de conformação mecânica. O aço líquido é então vazado da panela de aço para o distribuidor da MLC, onde será solidificado e transformado em ‘placas de aço’. A escolha da MLC para vazamento do aço depende da dimensão da placa e do tipo de aço, pois as duas MLCs têm concepções diferentes. Os comprimentos das placas feitas nas MLCs podem variar entre 5500 e 11500 mm; as larguras entre 700 e 2100 mm; e as espessuras são de 200 ou 225 ou 250mm. Todas as placas feitas em uma mesma corrida têm o mesmo grau.

A MLC1, com concepção mais antiga, possui tecnologia inferior à da MLC2. Cada MLC possui dois ‘veios de lingotamento’. A MLC1 tem capacidade produtiva de 2,3 Mt/ano e produz placas com composições químicas menos elaboradas e larguras que variam entre 800 e 1650 mm em cada veio. A MLC2 tem capacidade produtiva de 2,5 Mt/ano e, devido a sua melhor tecnologia, permite produzir placas com larguras até 2100mm quando utiliza normalmente os dois veios de laminação (*single*). Atualmente é usual na CST ter como produto final placas com larguras máximas de 1880mm. Além de poder produzir placas mais largas do que a MLC1, a MLC2 também produz placas mais estreitas, com até 700mm de largura, graças a um sistema denominado ‘*twin*’, que divide cada veio de laminação em dois (ver Figura 2.1), permitindo assim que quatro fileiras de placas estreitas (entre 700 e 1050mm) sejam lingotadas ao mesmo tempo, aumentando assim também a produtividade do equipamento. Seu projeto e tecnologia permitem que passem através dela aços mais refinados e com maiores exigências de conformação e resfriamento, que são os aços ultrabaixo carbono (*ULC – Ultra low carbon*) ou IF (*Interticial free*), com maior valor do que os demais aços que passam pela MLC1. A Figura 4.2 abaixo mostra detalhes de uma MLC.

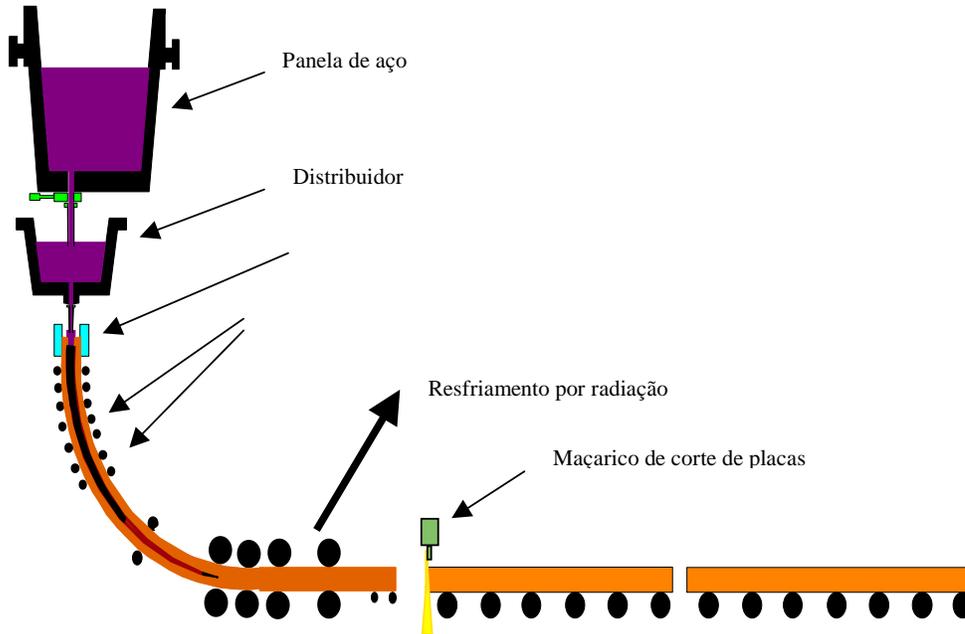


Figura 4.2 – Detalhamento de uma MLC.
Fonte: CST

Parte das placas produzidas nas MLCs serão destinadas à venda já como produto final, exatamente como acontece hoje, e a outra parte (a princípio, bem menos de 50% do total) será matéria-prima (*input*) para a produção de BQs no LTQ (ver Figura 4.1). Cada placa de aço destinada ao LTQ será laminada e transformada em uma única BQ. Existe na CST um sistema metalúrgico que, ao ser aprovado o pedido de uma determinada BQ (verificando se é possível ou não a sua produção em função do grau e/ou aplicação final), já calcula as dimensões da placa que a originará.

O LTQ da CST possui vários equipamentos (ver apêndice A), porém, como na maioria dos demais LTQs, para considerações de *sequencing* é dividido em três grandes equipamentos principais que compõem duas áreas: a ‘área de aquecimento de placas’, onde o equipamento principal que a compõe é FR; e a ‘área de laminação’, que é composta por alguns equipamentos, mas os mais importantes, e que influem no seqüenciamento, são o LD, ou desbastador, e o TA. A Figura 4.3 mostra um esquema geral do LTQ na CST.

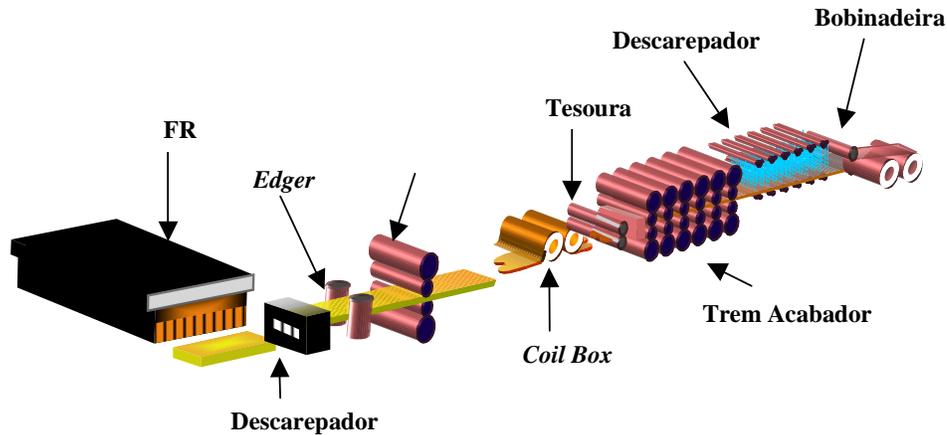


Figura 4.3 – Ilustração do LTQ na CST.
Fonte: CST

Neste estudo, considera-se que todas as placas produzidas nas MLCs destinadas ao LTQ serão enviadas primeiro a um ‘pátio de estocagem de placas’ (PEP) exclusivo para estas placas, onde resfriarão até alcançarem a temperatura ambiente antes de serem enforadas, o que caracterizará o CC-CCR no FR do LTQ. Esta consideração é bem razoável, pois está previsto que toda a produção no LTQ, num primeiro momento (pelo menos no primeiro ano, seguramente), terá este tipo de enforamento, até que a curva de aprendizado do equipamento (*rating up*) seja totalmente efetivada, e mesmo após a efetivação, o percentual de CC-CCR ainda será grande (mais de 60 %) no FR. A meta da empresa é chegar a, no máximo, 40% de carregamento a quente de placas no forno via CC-HCR, na grande maioria das vezes, ou, raramente, via CC-DHCR.

As placas de aço serão reaquecidas (encharcadas) no FR até uma temperatura necessária ao seu processamento no LTQ (temperatura de saída do forno), entre 1150°C e 1300°C. Convencionou-se como padrão para a produção de bobinas no LTQ a espessura de placa de 225 mm, em função de várias vantagens como: redução do consumo de combustível do FR; aumento da produtividade do LD e aumento da capacidade de produção do LD. Além disto, a Tabela 4.1 mostra que o mercado futuro de venda das placas da CST indica uma predominância na espessura de 225 mm, o que é muito favorável, pois facilitará a programação nas MLCs, que devem maximizar às ‘campanhas’ de espessuras. Desta forma, adotando placas com espessura padrão também de 225 mm no LTQ, ficará mais

fácil ‘conciliar’(programar) nas MLCs placas destinadas à fabricação de BQs com placas para venda.

A produção de 3,0 Mt/ano de placas para venda será o quadro já num primeiro momento de entrada em operação do LTQ (2002). Já a produção de 5,1 Mt/ano de placas será alcançada em 2005, quando estiver totalmente concluído o ‘plano de expansão’ da empresa, que prevê um total de 7,5 Mt/ano produzidas (placas + BQs).

tonelagem x	3,0 Mt/ano			5,1 Mt/ano		
	200 mm	225 mm	250 mm	200 mm	225 mm	250 mm
LTQ		2.000			2.400	
Vendas de placas	420	1.845	735	1.019	2.773	1.308
%	8%	77%	15%	14%	67%	18%

Tabela 4.1 – Comparativo entre a produção de placas para venda
Fonte: CST

Como o processo neste estudo é considerado CC-CCR, a ‘temperatura de carregamento’ das placas será a temperatura ambiente. Temperatura de carregamento; temperatura de saída do forno e espessura da placa de aço, combinadas, determinarão o tempo de residência de cada placa no FR que, com 12 m de largura e 53 m de comprimento útil de aquecimento, terá capacidade de reaquecer várias placas ao mesmo tempo. As placas serão carregadas transversalmente ao comprimento do FR e serão movimentadas lentamente, através do sistema *walking beam*, no sentido da porta de carregamento para a porta de saída do forno, até alcançarem a temperatura de processamento exigida no LTQ. Conforme já foi dito, as placas que residirão no forno simultaneamente deverão ter aproximadamente o mesmo tempo de residência para evitar desperdício de energia e redução da capacidade efetiva do FR.

Após saírem do FR, as placas de aço aquecidas a uma temperatura ideal para sofrerem o processo de laminação irão para a área de laminação propriamente dita. Apesar dos vários equipamento que a constituem, em termos de relevância para o seqüenciamento da produção, pode-se considerar que a área de laminação é dividida em apenas duas seções (equipamentos) principais: o LD e o

TA. O LD da CST fará a redução da espessura da placa de aço aquecida, recém saída do FR, de 225 mm para valores entre 20 e 40mm, transformando-a em uma ‘chapa grossa’ aquecida. O TA, formado por seis cadeiras de cilindros de laminação, reduzirá gradualmente a espessura da chapa grossa até a espessura final exigida para a BQ, que na CST variará entre 1,00 e 16,00mm.

A chapa grossa recém saída do LD será enrolada em um equipamento chamado *coil box*, que fica localizado entre o LD e o TA exercendo a função de um *buffer* de sincronismo. O *coil box* enrolará a chapa grossa aquecida e, com isto, fará com que ela perca menor quantidade de energia calorífica, mantendo-se aquecida por mais tempo. Além disso, o enrolamento das chapas grossas também proporcionará a redução do espaço por elas ocupado (enquanto aguardam a liberação do TA para a laminação) em relação ao observado em outras empresas de laminação, onde a chapa grossa aguarda a liberação do TA estendida em todo o seu comprimento. A chapa na *coil box* será ‘desenrolada’ no TA quando ele estiver liberado e devidamente pronto (ajustes de espessura, força nos cilindros, etc.).

Na saída do TA existe uma bobinadeira de tiras de aço responsável pelo enrolamento das BQs, que poderão ter seu fim de produção ali mesmo no LTQ e já serem consideradas como produto final ou não, ou seja, poderão ainda passar em uma das linhas que compõem as linhas de acabamento (LA), onde, se necessário, poderá ser feito um tratamento para correções metalúrgicas e mecânicas das tiras no Laminador de Encruamento (LE), ou ainda poderão ser feitos eventuais cortes (divisões) de cada BQ em duas ou mais BQs menores na linha de subdivisão (LS). Isto será possível porque uma única BQ laminada no TA poderá atender a dois ou mais pedidos pequenos de mesmo material (grau, largura e espessura), porém de clientes diferentes. Reforçando, é válido lembrar que cada placa de aço que entrará no LTQ produzirá uma única BQ no TA, ou seja, cada *input* (placa de aço) do equipamento corresponderá a um único *output* (BQ) no TA, que será enviado, ou não, às linhas de acabamento, onde poderá, ou não, ser dividido. De qualquer forma, as etapas posteriores ao TA não são consideradas neste estudo por não serem críticas no problema de seqüenciamento do LTQ.

4.4 Formação das Seqüências no LTQ

A seqüência de placas de aço que será laminada e transformada em BQs entre duas trocas consecutivas de cilindros das cadeiras do TA é chamada de ‘chance de laminação’ ou ‘caixão de laminação’ (*product block*). Estima-se que os cilindros do LD serão trocados a cada 30000, 40000 ou 50000 toneladas laminadas, dependendo do material aos quais são feitos estes cilindros. Estes valores correspondem de 4 a 8 dias de produção. Este período é chamado de ‘ciclo de desgaste’. Já os cilindros do TA serão trocados a cada 100 a 200 km de bobinas laminadas (1800 a 3000 t), dependendo do tipo de chance de laminação. Por dia poderão ser laminados, em média, 3 caixões de laminação, também dependendo dos tipos de chances que serão programadas para àquele dia.

Ao se fazer um seqüenciamento para laminação, geralmente se leva em conta três objetivos: eficiência, qualidade; e data de entrega. Reduzir tais objetivos a um único seria difícil porque seria necessário custear ‘qualidade’ e ‘atendimento no prazo’. Há, portanto de se considerar tais objetivos separadamente.

Mesmo o objetivo “eficiência” é de custeio difícil porque depende de diversos fatores interdependentes e complexos em si mesmos. A eficiência depende das características das placas laminadas, dos produtos finais desejados e do seqüenciamento. Portanto, para se considerar o critério eficiência é necessário, saber algumas características de cada placa e produto final e, ainda como elas mudam de uma placa para a seguinte. Essas características e variações são comentadas a seguir.

Largura - Deseja-se que as larguras das placas e das tiras (produtos finais) sejam limitadas dentro de uma determinada faixa e que não variem bruscamente de uma placa para a seguinte (no LD) e de uma tira para a outra (no TA). A razão disso, conforme já visto, é possibilitar a laminação em caixão que irá propiciar melhor aproveitamento dos cilindros laminadores.

Grau - (composição química) - Deseja-se que as placas tenham composição química similares. Isso é fundamental quando é feito o enformamento a quente porque a MLC não pode produzir placas de graus diferentes sem que hajam perdas de eficiência, conforme já comentado. Quando o enformamento é feito a frio,

conforme está sendo considerado no presente caso, ele também é importante porque terá influência no limite de resistência e na temperatura de saída do FR. Portanto é interessante formar chances placas de mesmo grau, ou de graus semelhantes (em características físicas).

Temperatura de saída - Por motivo óbvio, para seqüenciamento do FR é importante que todas as placas de uma chance tenham a mesma temperatura de saída. Além disso, como a temperatura de entrada será, no caso estudado, sempre a ambiente, a temperatura de saída será um dos determinantes do tempo de residência, que conforme já salientado, irá determinar a capacidade efetiva e o gasto de energia no forno.

Limite de resistência - O limite de resistência será determinante da abertura entre cilindros laminadores e de como a deformação total será distribuída entre as cadeiras de laminação. Conforme já salientado, pequenas mudanças no limite de resistência de uma placa para a seguinte, exigem menos ajustes nas cadeiras do LD e principalmente no TA sendo portanto, indesejáveis grandes saltos na espessura, especialmente na espessura final da tira laminada. Conseqüentemente, os saltos de resistência entre duas placas consecutivas deve ser limitado.

Calibre (espessura final da tira) - Conforme explicado acima o salto de espessura entre dois produtos consecutivos na seqüência deve ser limitado para evitar reajustar muitas cadeiras de laminação.

Apesar de, em geral, todas essas características e considerações serem necessárias para se obter uma seqüência de laminação eficiente, é interessante verificar como elas afetam cada um dos três equipamentos que estão sendo considerados neste estudo, a saber: o forno de reaquecimento (FR), laminador desbastador (LD) e o trem de acabamento (TR).

Convém lembrar que o principal determinante da eficiência de uma seqüência de placas no FR é a uniformidade das temperaturas de saída e os tempos de residência. Entretanto, esses parâmetros dependem muito da largura e do grau da placa. Como para a eficiência do LD é importante pouca variação nesses mesmos parâmetros, não há conflito entre o que seja uma boa seqüência para o FR e para o LD.

Essas coincidências das condições favoráveis para o FR e para o LD levaram os especialistas da empresa a definir “tipos de chances” com base nas características acima mencionadas. Como uma chance para o LD é muito maior (isto é engloba muito mais placas) do que uma do TA, do ponto de vista de qualidade e eficiência, esse grupamento dos pedidos dos clientes em chances deixa ainda muita liberdade para que se estabeleçam seqüências (chances) eficientes no TA.

Neste estudo, conforme detalhado mais adiante, será suposto que o seqüenciamento será inicialmente feito em termos de tipos chances para o LD e, posteriormente, as placas componentes dessas chances (conjunto esse também denominado *line-up*) se desdobrarão em vários caixões ou seqüências de produtos (conjunto esse também denominado *product-block*). Dessa forma, qualquer que seja o seqüenciamento nos *product-blocks*, a operação eficiente no FR e no LD estará garantida.

Em função da grande gama de: LR, grau, espessura e largura de BQs, foram criados na CST sete ‘tipos’ de chances de laminação diferentes, no intuito de facilitar a seleção e o agrupamento de placas em uma mesma chance (seqüência), aliás, esta é uma fase muito importante que antecede ao seqüenciamento das placas propriamente dito.

Os tipos padrões de chances na CST e suas características são mostrados na Tabela 4.1 a seguir:

Tipo de chance ou caixa	Faixa de espes. (mm)	Faixa de largura (mm)	Km máxima	Km max em mesma larg.	Lim. de resist. (Kgf/mm²)	Família de graus
E (Estreita)	1,90 a 5,00	700 a 1350	150	100	≤ 45	3,4 e 6
L (Larga)	1,90 a 5,00	1100 a 1880	150	100	≤ 45	3,4 e 6
G (Grossa)	5,01 a 16,00	700 a 1880	200	100	≤ 45	3,4 e 6
U (U. Baixo C)	1,90 a 5,00	700 a 1880	100	60	≤ 45	1 e 2
F (Fina)	1,00 a 3,90	700 a 1599	100	70	≤ 45	3,4 e 6
LM (Microlig. L)	2,00 a 5,00	1100 a 1880	150	100	≤ 70	5,9,11,12,13 e 14
GM (Microlig. G)	5,01 a 16,00	700 a 1880	200	100	≤ 70	5, 9, 11, 12, 13 e 14

Tabela 4.1 – Características dos Tipos de Chances de Laminação.
Fonte: CST

Os critérios de agrupamento, seus valores e faixas de valores mostrados na Tabela 4.1 acima servem para dar a uma determinada chance de laminação o melhor desempenho possível em uma análise global e foram determinados da experiência com os equipamentos.

O tamanho ideal de um determinado tipo de chance de laminação é determinado em quilometragem de bobinas laminadas. Este tamanho varia de acordo com o tipo de chance e só é viável caso as regras de seqüenciamento sejam seguidas. Tais regras serão vistas mais adiante.

Não é tarefa fácil realizar o planejamento da produção quando vários objetivos devem ser considerados simultaneamente. No contexto da unidade de produção de aciaria deve-se minimizar tempos de *setup* provocados por troca de espessura de molde (maximizando a ‘campanha de espessura’) e maximizar a vida útil dos distribuidores das MLCs. Na unidade de produção LTQ deve-se equalizar os tempos de residência no FR e minimizar os saltos de largura, espessura e LR dentro de um mesmo caixa. Estes objetivos conflitantes devem ser considerados conjuntamente dando importância ao atendimento das datas de entrega estabelecidas para os clientes.

Para o desenvolvimento de um sistema automatizado de apoio ao processo produtivo é necessário levantar e considerar apenas as características de produção relevantes já que a complexidade do problema é grande. Abaixo são enunciadas as características em cada situação de seqüenciamento.

4.4.1

Pré-sequenciamento de Médio Prazo dos Caixões de Laminação

O pré-sequenciamento é o planejamento de produção de médio prazo que é feito para o LTQ. O período é configurável, mas a idéia atual na CST é fazer o planejamento semanal (sete dias), também chamado de *weekly*.

O objetivo do *weekly* é ‘sugerir’, grosso modo, uma seqüência de caixões no decorrer do período configurado de pré-sequenciamento, considerando tanto placas físicas (existentes) no PEP quanto placas ‘virtuais’ (apenas em carteira) previstas para o período. O intuito é conciliar boas seqüências planejadas tanto para as MLCs quanto para o FR e LD do LTQ. Neste momento são consideradas apenas características das placas de aço, tais como: grau e dimensões da placa, principalmente espessura, pois estes são os critérios importante para a programação das MLCs, FR e LD. É válido lembrar que a espessura de placa padrão para fabricação de BQs é 225 mm, portanto, a espessura de entrada considerada para o FR e o LD é esta, não é variável. As MLCs produzem placas de 200, 225 e 250 mm. O *weekly* visa formar as maiores ‘campanhas’ de espessuras de placas possíveis procurando, ao mesmo tempo, atender bem tanto a necessidade de placas para venda quanto para o LTQ com o menor comprometimento possível de datas de entrega dos produtos.

O detalhamento das espessuras e larguras das BQs que compõem uma chance será importante apenas no sequenciamento de curto prazo do TA do LTQ. Nesse sequenciamento os saltos dessas dimensões de uma BQ para a seguinte deverão ser os mais suaves possíveis visando à qualidade das BQs e, principalmente, a otimização da vida útil dos cilindros de trabalho do TA.

Regras de Sequenciamento das MLCs

Na Aciaria, o problema de planejamento da produção é resolvido em dois níveis. Em um primeiro nível resolve-se o problema de *lot sizing*, no qual pedidos semelhantes são agrupados em lotes. Nesse momento, o tamanho ideal dos lotes são estabelecidos de forma a maximizar o tempo de vida útil dos distribuidores.

No segundo nível, o objetivo é programar os lotes gerados para serem processados nas máquinas de lingotamento contínuo, de forma que as datas de

entrega sejam atendidas. Nesse nível a solução deve levar em conta os tempos de *setup* que são gerados pela troca de molde de espessura, tempos esses dependentes da seqüência.

A programação da produção visa dois objetivos importantes a serem atingidos quando as MLCs são programadas, um deles é o aproveitamento máximo dos distribuidores das MLCs. Um distribuidor normalmente admite que nele sejam vazadas de cinco a seis corridas com graus compatíveis. Se, por exemplo, a programação das MLCs prevê apenas três corridas com graus compatíveis, o distribuidor é subutilizado, pois, teoricamente, ele ainda admitiria mais três vazamentos de aço líquido com graus compatíveis com as corridas anteriores. Quando ocorre troca de grau, obrigatoriamente, o distribuidor também deve ser trocado.

Outro objetivo muito importante na programação das MLCs é compor a maior ‘campanha’ possível com a mesma espessura das placas, isto porque a troca de espessuras requer uma parada demorada das MLCs para ajustes dos moldes de espessuras, o que implica em grande perda de produtividade. A minimização das trocas de larguras das placas também é desejada, pois elas geram perda de material por não conformidade dimensional, mas são muito menos indesejáveis do que as trocas de espessuras, visto que essas podem ser feitas com as MLCs em funcionamento, apenas abrindo ou fechando os moldes de larguras.

Programação das MLCs X Programação do LTQ

Como já visto, diferentes tipos de chances de laminação foram elaborados para facilitar também o trabalho de pré-sequenciamento de médio prazo (planejamento semanal ou *weekly*). Na verdade, o *weekly* tem como objetivo conciliar um bom planejamento tanto para as MLCs, quanto para o LTQ.

Nas MLCs, a largura das placas pode ser igual a 200, 225 ou 250 mm, porém, para as placas destinadas ao LTQ, convencionou-se a largura das placas como sendo de 225 mm, em função de uma série de vantagens.

Observa-se que as faixas de larguras e as famílias de graus das placas determinadas para cada tipo de chance são fatores de agrupamento importantes para as programações semanais das MLCs, FR e LD, portanto, o *weekly* não é importante para as programações diárias que determinarão exatamente quais serão

as seqüências de placas em cada caixão. O *weekly* planeja a produção semanal fazendo o agrupamento grosseiro das placas observando apenas as faixas de larguras (mínima e máxima) e as famílias de graus que entram em cada tipo de chance. O *weekly* não contempla o TA do LTQ, pois no TA fatores como saltos de espessuras das BQs, que não são observados no *weekly*, são extremamente importantes.

4.4.2

Seqüenciamento de Curto Prazo dos Caixões de Laminação

O objetivo deste trabalho é propor um método de seqüenciamento de produção diário elaborado basicamente para formar um dos sete tipos de chances, que é a ‘chance E’. Estima-se que, sozinha, no panorama de mercado atual, este tipo de chance será responsável mais de 50% do total de BQs produzidas na CST. Para os demais tipos de chances não foram elaborados métodos específicos. Espera-se que métodos para programação das demais chances possam seguir o modelo elaborado para a chance E, mudando apenas os valores dos critérios.

Cada placa tem características de entrada importantes: largura, espessura, grau, temperatura de carregamento, temperatura de saída do FR, dureza e espessura final da BQ que será produzida.

As mais importantes restrições de programação, conforme já dito, requerem trocas suaves em três aspectos: largura, dureza (LR) e espessura final da BQ. Estas restrições forçaram a empresa a criar algumas regras de programação, baseada na experiência de outras empresas que operam com LTQ semelhante em ambiente também semelhante ao da CST. Essas regras serão vistas adiante.

A troca suave de larguras das BQs será obtida pela laminação em caixão conforme esquematizado na Figura 4.1. Para a formação do caixão será adotada a seguinte metodologia para tratar dos saltos de largura: As primeiras placas que comporão a chance deverão ser exclusivamente placas estreitas e sem grandes exigências de qualidade dimensional e superficial, que são as placas com exigência de qualidade superficial S3 e S4, os cilindros ainda não estarão em plenas condições de receber materiais com maiores exigências de qualidade. Esta primeira região da chance é bem conhecida como ‘acerto’ (*break in*), mas na CST também é chamada de ‘ajuste’ da chance. A quilometragem laminada nesta região

deverá ser pequena, no máximo 5 km para qualquer tipo de chance (ver Tabela 4.2).

Após laminar todo o ajuste, começará então a ser laminada a nova região de ‘abertura’ (*wide out*), também conhecida como ‘aquecimento’, onde as larguras das placas serão crescentes, no intuito de distribuir melhor o calor por todo o comprimento do cilindro, melhorando assim sua eficiência e condições operacionais. As placas/BQs que entrarão nesta região da chance também não deverão ter grandes exigências de qualidade superficial (S3 e S4) para as BQs, e a quilometragem total também deverá ser pequena, no máximo 10 km para chances do tipo E, que é a consideração do caso em estudo. O motivo de a quilometragem ser pequena nas duas primeiras regiões da chance (regiões de ‘subida’ de larguras) é que, desta forma, não comprometem os cilindros marcando-os. Estas regiões são meramente para preparação dos cilindros para que estes possam laminar os materiais com maiores exigências nas regiões de descida de larguras (fechamento) subsequentes.

A partir do momento em que a abertura (largura máxima da chance) for alcançada, os cilindros já estarão bem aquecidos, balanceados, alinhados e ainda novos ou muito pouco desgastados, ou seja, estarão em condições ideais para receberem placas com maiores exigências de qualidade superficial para as BQs (S1 e S2), então será iniciada a laminação do ‘corpo’ da chance, onde a quilometragem laminada já será bem maior do que nas regiões anteriores e as larguras serão decrescentes para evitar que as marcas que serão deixadas pelas bordas das BQs anteriores. Para terminar uma chance, será laminado o ‘final’ da chance, onde as larguras serão mais rapidamente decrescentes porque os cilindros começarão a ficar mais desgastados devido à grande quilometragem de BQs já laminadas. No caso da chance tipo E, vê-se na Tabela 4.1 que a quilometragem máxima será de 150 km. A Figura 4.1 mostra esta afirmação.

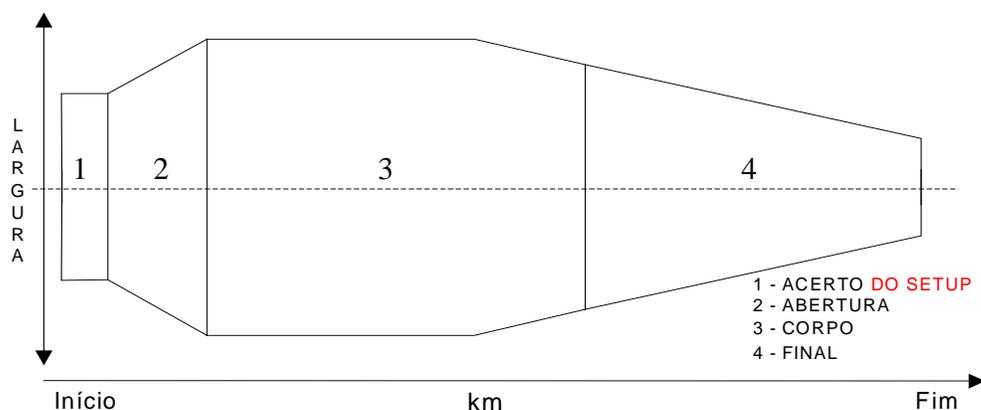


Figura 4.1 – Divisões da Chance (Caixão) de Laminação.
Fonte: CST

PLACAS (mm)	KM MÍNIMA	KM MÁXIMA	BOBINAS (mm)	LIMITE DE RESIST. (kgf/mm ²)	TIPO DE CHANCE
200/250 x 930/1090 x 5500/11500	2	5	3,00/4,75 x 895/1050	≤ 45	L, E, U e F
200/250 x 1000/1090 x 5500/11500	2	5	3,90/4,75 x 1000/1150	≤ 45	L, U, F e LM
200/250 x 950/1260 x 5500/11500	3	5	6,00/6,50 x 890/1200	≤ 45	G e GM

Tabela 4.2 – Características do Acerto do Setup do Laminador.
Fonte: CST

O método proposto nesta dissertação contemplará apenas as regiões de fechamento do caixão (corpo e final), que possuem perfis cônicos devido ao decréscimo das larguras das BQs. A justificativa desta consideração se deve à maior dificuldade de seqüenciamento nesta região que, preferencialmente, possui maiores exigências de qualidade e contém uma quantidade de placas muito maior (90% do total da chance) do que as regiões de crescimento de larguras do caixão (acerto e abertura), que são mais facilmente seqüenciadas, podendo o seqüenciamento destas regiões ser feito rapidamente manualmente sem grandes problemas, devido à pequena quantidade de placas e exigências.

Trocas suaves de LR e de espessura final da BQ são desejáveis porque, em função disso, tanto no desbastador quanto no trem acabador, deverão ser feitos muitos ajustes nas aberturas entre rolos caso a variação seja muito grande.

Como já visto, em um LTQ a boa utilização do cilindro tem um papel muito importante na determinação da qualidade do produto, custos operacionais, e

capacidade produtiva. Surge então o seguinte dilema. Se um caixão tiver uma quilometragem de BQ muito extensa (muitas BQs), os cilindros ficarão gastos demais e ocasionarão uma qualidade superficial indesejável para as BQs. Se o caixão for curto demais, os cilindros serão trocados antes da hora, ocasionando muitos *setups* e gerando um alto custo de troca e manutenção dos cilindros. O comprimento de um caixão depende do desgaste dos cilindros, que é função da dureza e da espessura das BQs que o compõe. Na ausência de uma regra precisa, os especialistas da CST, baseados na experiência de outras empresas, usam como diretriz aquelas informações dadas na Tabela 4.1 acima para formarem cada tipo de chance.

Existem objetivos conflitantes no seqüenciamento do LTQ. Dois objetivos importantes são: qualidade superficial das BQs e produtividade. Para uma da seqüência, a melhoria da qualidade requereria muitos *setups* e pouco aproveitamento dos cilindros (diminuiria bastante a produtividade e aumentaria bastante os custos, visto que os cilindros são caros) enquanto que o aumento da produtividade requereria a minimização da quantidade de *setups*, porém, seriam gerados produtos com qualidade ruim.

Para melhorar a produtividade sem prejuízo na qualidade, deve-se criar caixões os mais homogêneos possíveis (tempos de residência similares, durezas, espessuras, graus e trocas suaves). Além de tentar formar caixões mais homogêneos, existem outros dois objetivos também muito importantes, porém conflitantes com a homogeneidade na formação de um caixão, que são: minimizar os atrasos de entrega (principal) e trabalhar com baixos estoques. Isto porque o departamento de vendas não consegue vender apenas produtos parecidos em um mesmo período, pois há uma gama de clientes diferentes com necessidades de também diferentes produtos.

Então, resumidamente, o problema consiste no seqüenciamento diário da produção do LTQ, considerando as restrições mencionadas, tentando encontrar um equilíbrio entre quatro objetivos: minimizar atrasos (principal), maximizar a qualidade da BQ, maximizar produtividade e minimizar o desperdício de energia no FR. Dada a complexidade desse problema, é clara a necessidade de uma abordagem simplificada como a descrita a seguir. Conforme visto na seção 4.3, as restrições e o desempenho do Fr e do LD estão muito mais alinhados entre si do que com os do TA, fato este que levou à criação de ‘tipos de chances’. Além

disso, uma chance no LD (*line-up*, ou conjunto de placas a serem laminadas no LD entre duas trocas de rolos consecutivas) envolve muito mais placas do que uma chance (caixão) de BQs (*product block*, ou conjunto de placas a serem laminadas entre duas trocas de rolos consecutivas no TA). Por isso, cada chance deverá ser constituída de vários caixões. Além disso, as restrições para formar uma chance no LD são muito menos estritas do que as para formar um caixão. Portanto, para se formar uma chance, basta formar vários caixões tomando o cuidado de selecionar somente placas com características que satisfaçam às especificações do tipo de chance que se deseja (no presente caso, chance tipo E).

O problema consiste ainda em, além de tentar encontrar os objetivos acima, formar dois caixões E ‘bons’ (homogêneos) em cada iteração do método (programa), ao invés de apenas um. Desta forma evitaria a possibilidade de formação de um caixão muito bom numa primeira iteração e um outro ruim na iteração logo a seguir, pois haveria a possibilidade de sobrarem apenas placas ruins para formar o segundo caixão.

Regras de seqüenciamento

Para ajudar na formação das seqüências do LTQ, algumas regras empíricas foram estabelecidas pelos especialistas da CST. A Tabela 4.1 acima mostra a regra básica geral de ‘seleção’ para a formação de chances para o LTQ com os atributos necessários às placas que devem entrar em um mesmo caixão, bem como a quilometragem máxima que se poderá ter de materiais com tais características. A quilometragem máxima só é alcançada se, além dos atributos básicos necessários, também forem seguidas as regras de laminação preestabelecidas para saltos de largura, espessura e LR.

- Saltos de larguras: Para uma chance do tipo E, o salto máximo de largura entre uma faixa de largura e a seguinte é de 300 mm. É importante ressaltar que, a partir da primeira BQ que compõe um caixão, salto de largura de até 25 mm é considerado como mesma largura, assim, duas BQs que apresentam diferença entre larguras menor ou igual a 25 mm são consideradas de mesma largura e estarão dentro de uma mesma ‘faixa de largura’. Caso haja novo salto e a diferença entre as larguras da nova bobina e a da bobina de maior largura da faixa

anterior for maior que 25 mm, será considerada a abertura de uma nova faixa de largura. A Tabela 4.3 ilustra esta afirmação.

Order entry			km		COMENTS
ORDER NUMBER (Ex.)	WIDTH (mm)	AMOUNT OF COILS	CUMULATED IN ORDER (km)	CUMULATED IN THE SAME WIDTH (km)	
↑ C1	1240	16	20,0	20,0	PREVIOUS RANGE
↓ A2	1200	29	35,0	35,0	RANGE WITH SAME WIDTH MINIMUM WIDTH 1175 MAXIMUM WIDTH 1200
A3	1190	12	15,0	50,0	
B2	1180	15	18,0	68,0	
↑ B1	1175	23	28,0	96,0	
↓ D5	1170	16	20,0	20,0	NEW RANGE OF WIDTH MINIMUM WIDTH 1145 MAXIMUM WIDTH 1170
E1	1150	17	21,0	41,0	
E2	1145	18	22,0	63,0	

Tabela 4.3 – Exemplo de Faixas de Larguras em uma Chance de Laminação.
Fonte: CST

No exemplo acima, verifica-se que durante a fase de fechamento da largura da chance, o pedido B1, com largura das BQs igual a 1175 mm, é o último pertencente à segunda faixa de larguras, isto porque o pedido A1, que é o mais largo desta faixa, tem 1200 mm, ou seja, 25 mm maior que B1, exatamente igual ao salto máximo de largura permitido em uma mesma faixa. O pedido D5, que tem largura das BQs igual a 1170 mm, já não teria nenhum item pertencente à segunda faixa de larguras porque a diferença entre as larguras de A1 e D5 é de 30mm, portanto, maior do que o salto máximo permitido em uma mesma faixa de larguras que é de 25 mm.

- Saltos de espessuras: Ainda não existe uma regra clara que defina bem os valores dos saltos de espessuras, mas, baseada na experiência de outras indústrias de laminação a quente, a CST crê que uma boa regra para tratar os saltos de larguras é: em uma mesma faixa de larguras, começar laminando sempre da maior espessura para a menor; laminar o máximo possível de BQs com mesma espessura; minimizar a quantidade de vezes em que a espessura subsequente ultrapasse a 40% da espessura anterior.

- Saltos de Limite de Resistência (LR): Para alguns tipos de chance (LM e GM por exemplo, que podem ter materiais com LR até 70 kgf/mm^2), este item impõe regras severas quanto aos limites dos saltos. Para a chance E não há grandes problemas com seqüenciamento no que diz respeito ao LR, isto porque o LR máximo é de 45 kgf/mm^2 , e praticamente não há problemas de saltos com durezas

até este valor, neste caso, o LR é restritivo apenas para o ‘agrupamento’ das placas que entrarão em um caixão E, e não para o seqüenciamento.