

# PROBLEMA DAS MULTIPLAS MOCHILAS COM CONFLITO DE ITENS APLICADO NA FORMAÇÃO DE CARGAS EM FORNO DE RECOZIMENTO EM CAIXA \*

Vitor Tomaz de Aquino<sup>1</sup>  
Moysés Dutra da Silva<sup>1</sup>  
Rafael Masulck Santos<sup>2</sup>  
Tiago Araújo Neves<sup>3</sup>  
Wesley Luiz da Silva Assis<sup>4</sup>

## Resumo

Neste trabalho é abordado o problema das múltiplas mochilas para modelar a necessidade industrial metalúrgica de alocação de bobinas de aço em um forno de recozimento em caixa. Condições especiais de processo, exigem priorização das bobinas mais antigas do estoque para garantir requisitos de qualidade. Além do mais, algumas limitações físicas e exigências de qualidade devem ser respeitadas, tais como, a obrigatoriedade de agrupamento de bobinas de mesma qualidade e limites físicos de altura e peso. Assim, uma formulação matemática é proposta para resolver este problema, cuja função objetivo visa maximizar o peso total da carga ocupada pelas bobinas de mesmas características e priorizar as bobinas mais antigas em estoque. Os resultados computacionais mostram que a aplicação da técnica do modelo de programação linear otimiza a formação de cargas gerando resultados reais de processo.

**Palavras-chave:** Forno de Recozimento de Caixa; Problema da Mochila; Otimização linear; Modelagem computacional.

## MULTIPLE KNAPSACK PROBLEM WITH CONFLICT ITEMS APPLIED IN ANNEALING FURNACE

### Abstract

This paper addresses the multiple knapsack problem to model the allocation of steel coils into inner covers of annealing furnace process on metallurgical industries. Special process conditions require prioritization of the oldest coils to ensure quality requirements. Moreover, some physical limitations, such as height and weight, and quality requirements, like the obligation to group together coils of the same quality, must be observed. Thus, a mathematical formulation is proposed to solve this problem, whose objective function aims to maximize the total weight and prioritizes the oldest coils in stock in each inner cover selected. The computational result shows that the application of linear programming model technique optimizes the charges formed in real case scenarios.

**Keywords:** Annealing Furnace; Bin packing problem; Linear Optimization; computer simulation.

<sup>1</sup> Eng. de Manutenção, Companhia Siderúrgica Nacional, Volta Redonda, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Eng. Metalurgista, Mestre em Engenharia Metalúrgica, Companhia Siderúrgica Nacional, Volta Redonda, RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Doutor em Computação, Professor e pesquisador da área de computação da UFF, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ, Brasil

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Metalúrgica, Professor e pesquisador da UFF, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Com a crescente competitividade do mercado de fabricação de aço se faz necessária implementar técnicas de modelagem computacional para redução de custos e otimização de processo. O presente trabalho apresenta a modelagem computacional de um problema real no processo de formação de carga de bobinas de aço plano aplicado em forno de recozimento de caixa. O estoque de entrada recebe uma grande variedade de bobinas de aço, cada qual com sua característica, oriunda de processos anteriores cujos equipamentos são denominados Laminador de Tiras a Frio.

O fluxo de produção está representado na Figura 1 e o foco deste trabalho, que está circulado em vermelho, estão nos materiais que chegam no estoque da planta do Forno de Recozimento em Caixa.

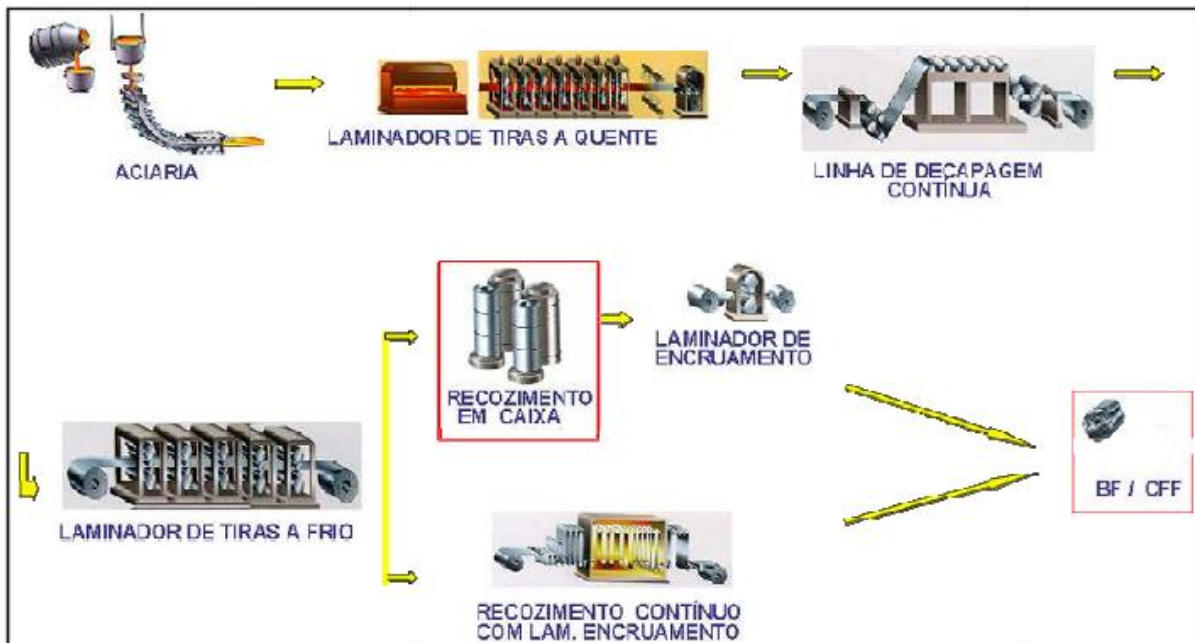


Figura 1 – Resumo do fluxo produtivo ao qual os fornos de recozimento em caixa fazem parte. Aumento da produtividade dos fornos de recozimento em caixa da CSN. Artigo publicado no 68º Congresso ABM.

Ao contrário de linhas contínuas o processo do forno de recozimento em caixa é composto por várias bases, abafadores, fornos e resfriadores e tem sua produção em batelada. Em [1] define que, o processo em batelada é um processo industrial que prioritariamente programa curtos ciclos de produção de produtos. Os equipamentos devem ser flexíveis o suficiente para manipular o processamento de uma larga variedade, tamanhos e mudanças de projetos de cada produto. Sendo assim, um processo em batelada torna-se economicamente inviável caso sua produção não tenha adequada programação, utilização de recursos e otimização de custo.

No Forno de Recozimento em Caixa é importante que as cargas sejam formadas ocupando a maior capacidade de peso possível, pois consumirá aproximadamente o mesmo tempo de processo, combustíveis e pessoas quando utilizado de forma não otimizada. Além do mais, obedecer a regra de processo com bobinas de mesma especificação de aço, observando o tempo máximo que as bobinas podem ficar aguardando para agrupamento favorecem o atendimento aos clientes dentro dos prazos e evitam defeitos na qualidade final do produto.

O processo de formação da carga acontece a cada troca de turno, tendo os operadores a necessidade de conferir a relação de bobinas disponíveis no estoque para aplicação. Contudo, existe uma regra de formação de carga que deve ser obedecida devido as dimensões do compartimento, que se chama abafador, portanto, se faz necessário uma boa análise para determinar quais materiais podem ser agrupados. A Figura 2 representa a formação de uma carga com a posição vertical em que as bobinas são empilhadas no abafador. Observa-se que a soma das larguras de cada bobina formará a altura total da carga dentro deste. Em seguida um forno de recozimento recobre o abafador e o processo de recozimento inicia-se até que as propriedades mecânicas sejam atendidas. No fim, as bobinas são resfriadas e liberadas para o próximo processo.

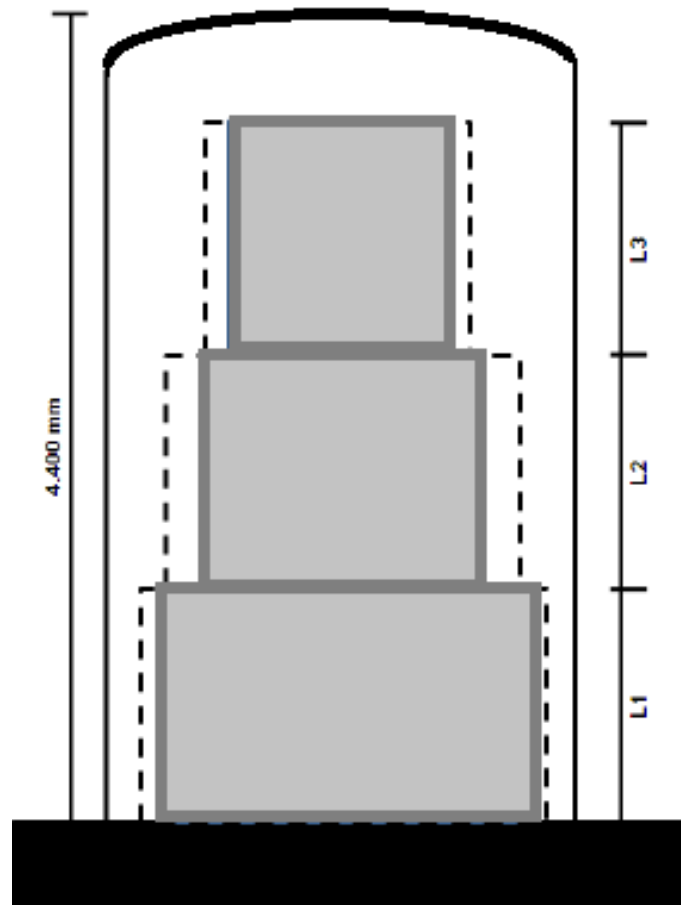


Figura 2 – Figura esquemática de abafador com bobinas empilhadas

Para otimização deste processo, será utilizado a técnica matemática de programação linear (PL). Muitos casos práticos podem ser resolvidos gerando soluções ótimas globais. Portanto, neste trabalho será estudado o problema das múltiplas mochilas na sua forma generalizada e também a aplicação. Posteriormente, será apresentada a sua formulação original, assim como, trabalhos relacionados e cada solução particular encontrada afim de obter a solução exata exigida para a maior ocupação de peso no abafador.

### 1.1 – Trabalhos Relacionados

O problema da mochila é largamente estudado e faz parte dos problemas de otimização combinatória da classe NP-difícil. Trabalhos como os de Carvalho [3]

propõe otimização do problema da mochila. Em [4] o problema da mochila inteira aplicado em decisões de compra de aparelhos de atividades desportivas: modelo e aplicação.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 – Formulação clássica do problema da mochila 0 - 1

Segundo [2] a definição do problema da mochila 0 – 1 na sua forma clássica tem a seguinte formulação:

Sendo,

$c$  – a capacidade máxima de peso da mochila (Abafador).

$O = \{1, \dots, n\}$ , o conjunto de objetos,  $|O| = n$  (Bobina).

$p_i$  - Benefício do item  $i$ .

$w_i$  - Peso do item  $i$ .

$x_i$  - Variável de decisão é 1 se o item  $i$  está selecionado. 0 caso contrário.

Para cada objeto  $O_i$  deve decidir entre selecionar ou não, o que significa colocar o objeto na mochila ou não;

A função objetivo (1) é maximizar o benefício obtido por selecionar o objeto  $i$ . Neste caso cada objeto tem um benefício se selecionado.

A capacidade da mochila deve ser respeitada (2) e neste caso só há uma mochila. Em (3) tem-se a variável de decisão binária que se torna 1 caso o objeto  $i$  for selecionado e 0 caso contrário.

$$\text{Max} \quad \sum_{i \in O} p_i x_i \quad (1)$$

S.a.

$$\sum_{i \in O} x_i w_i \leq c, \quad (2)$$

$$x_i \in \{0, 1\}, \forall i \in O \quad (3)$$

### 2.2- Formulação clássica para o problema de várias mochilas

Para o caso real do problema estudado, a cada troca de turno, múltiplos abafadores precisam ter suas cargas montadas. Analisar cada abafador como um problema da mochila individual é possível, contudo, esta abordagem pode levar a uma solução subótima quando comparada a uma abordagem que considera os múltiplos abafadores simultaneamente. Neste sentido, abordagens baseadas no Problema das Múltiplas Mochilas são mais adequadas para tratar o problema em questão. Todos os exemplos adiante terão a formação de carga para duas mochilas (abafadores).

Neste caso, necessita-se saber se o item  $i$  está selecionado na mochila  $j$ . Portanto, a variável de decisão se torna uma variável de duas indexações, ou seja, do tipo bidimensional  $x_{ij}$ .

$M$  - Conjunto de Mochilas, cada uma com a sua capacidade  $C_i$

$C_i$  - Capacidade da mochila  $i$ . No exemplo prático os abafadores têm limites de peso e altura iguais.

$O_j = \{1, \dots, n\}$ , o conjunto  $j$  de objetos (Bobinas).

$p_{ij}$  - Benefício do item  $j$  está associado a mochila  $i$ .

$w_j$  - Peso do item  $j$ .

$x_{ij}$  - Variável de decisão é 1 se o item  $j$  está associado a mochila  $i$ . 0 caso contrário.

Para cada objeto  $O_j$  deve-se decidir se este objeto será utilizado ou não. Caso opte-se pelo uso do objeto também deve ser decidido em qual mochila ele será alocado. O objetivo é maximizar a soma dos benefícios de todas as mochilas selecionadas. As capacidades das mochilas devem ser respeitadas.

Na função objetivo (4) se tem a soma do benefício de associar objetos às mochilas. No caso prático  $p_{ij}$  será substituído pelo peso da bobina  $j$ . Isto ocorre porque não há preferência em associar uma bobina a um abafador específico sendo o benefício o mesmo da bobina em qualquer abafador. Com isso, o benefício é substituído pelo peso de cada bobina, sendo a carga final, formada pelo somatório dos pesos das melhores bobinas selecionadas.

Em (5) e (6) estão apresentadas as restrições de capacidade das mochilas. Observe que, no caso prático, estas restrições serão baseadas nas limitações físicas dos abafadores. Serão dois conjuntos de restrições: um para tratar o peso máximo suportado pela base e outro para tratar a altura máxima respectivamente.

As restrições (7) tratam da integralidade e não negatividade.

$$Max \quad \sum_{i \in O} \sum_{j \in M} p_{ij} x_{ij} \quad (4)$$

S.a.

$$\sum_{j \in O} x_{ij} w_j \leq C_i, \forall i \in M \quad (5)$$

$$\sum_{j \in O} x_{ij} h_j \leq H_i, \forall i \in M \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall j \in O, \forall i \in M \quad (7)$$

### 2.3- Função objetivo: Priorização de bobinas aguardando no estoque.

Uma necessidade especial está na priorização do material aguardando no estoque para formação da carga. O tempo que o material está aguardando é calculado pela diferença da data em que a bobina foi produzida no equipamento anterior e a data atual. O resultado da diferença de tempo é um valor inteiro, cujo arredondamento é para cima, e representará dias de produção cuja definição é tempo de trânsito (TT).



Para que haja priorização no tempo de trânsito ou de peso da carga, é aplicado um fator multiplicador que representa grau de importância na função objetivo.

$$Max z = \sum_{i \in M} \sum_{j \in O} \alpha w_j x_{ij} + \sum_{i \in M} \sum_{j \in O} \beta p_j x_{ij} \quad (8)$$

A função objetivo na formulação (8), tem que  $w_j$  representa o peso real da bobina e  $p_j$  é o valor de tempo trânsito, ou seja, o tempo que a bobina está esperando no estoque. Observe que a letra grega  $\alpha$  representa o fator que prioriza os pesos da bobina e a letra grega  $\beta$  representa o fator que prioriza ou não as bobinas com “tempo de trânsito maior”. Pode-se, a partir desta formulação, dar maior priorização na formação da carga cujas bobinas estão esperando mais tempo no estoque simplesmente ajustando os valores de  $\alpha$  e  $\beta$  de modo coerente.

### 2.3 – Restrições: Agrupamento de bobinas de mesma qualidade

Nos tópicos anteriores a função objetivo busca formar cargas com o maior peso possível e que atendessem o requisito de qualidade chamado tempo de trânsito. Existe, porém, outra exigência que trata da restrição de não agrupar materiais de diferentes qualidades. Atualmente, existe uma gama de ciclos de recozimento, com diferentes configurações de tempos e temperaturas que são definidos de acordo com propriedades mecânicas e superficiais especificadas pelos clientes. Devido a isso, restrições adicionais são aplicadas para fazer com que as cargas formadas tenham bobinas de mesmo ciclo.

$$x_{ki} + x_{kj} \leq 1, \forall k \in M, \forall (i, j) \in [(i, j) : i \in O, j \in O, ciclo_i \neq ciclo_j] \quad (9)$$

Com isso, as novas restrições (9) fazem com que a soma de bobinas de qualidades diferentes no mesmo abafador deve ser no máximo 1, impedindo que bobinas de ciclos diferentes sejam adicionadas a esta carga gerando assim o tratamento de conflito de itens.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para as análises e discussões dos resultados, foram utilizadas diferentes instâncias para formação de carga com dados de “tempo de trânsito”, massa e largura das bobinas. Foi utilizado o software da IBM para resolução de problemas de programação linear OPL IDE com versão livre para trabalhos acadêmicos. O computador foi um notebook Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU 2.2GHz, 4GB, 64 bits e Windows 10.

### 3.1 Simulação com ênfase no peso da formação de carga N° bob = 283.

Nesta seção estão as simulações com a base de dados total 283 bobinas. A função objetivo tem um fator  $\alpha = 1$  e  $\beta = 10$ . O algoritmo deve formar duas cargas. Observe que na Figura 3, há um maior número de bobinas de qualidade do ciclo C seguida pela qualidade de ciclo H e assim sucessivamente.

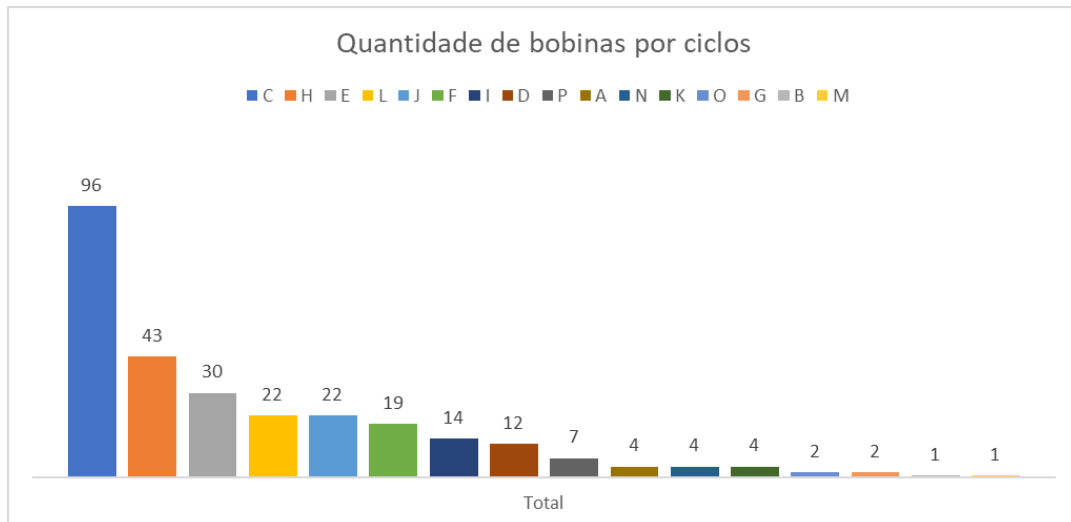


Figura 3 - Distribuição de 283 bobinas por qualidade.

Dentre as bobinas apresentadas, a Figura 4 apresenta a quantidade de bobinas com tempo de trânsito (TT) maior que 15. Para as simulações, os dados do tempo de trânsito são aleatórios e tem distribuição entre o valor um e vinte. A quantidade de bobinas considerada com tempo de trânsito alto é considerada maior que quinze. Portanto, após o filtro  $TT > 15$  a Figura 4 apresenta uma distribuição de dados similar a distribuição dos dados da Figura 3 mantendo o ciclo C com maior número de bobinas seguida do ciclo H.

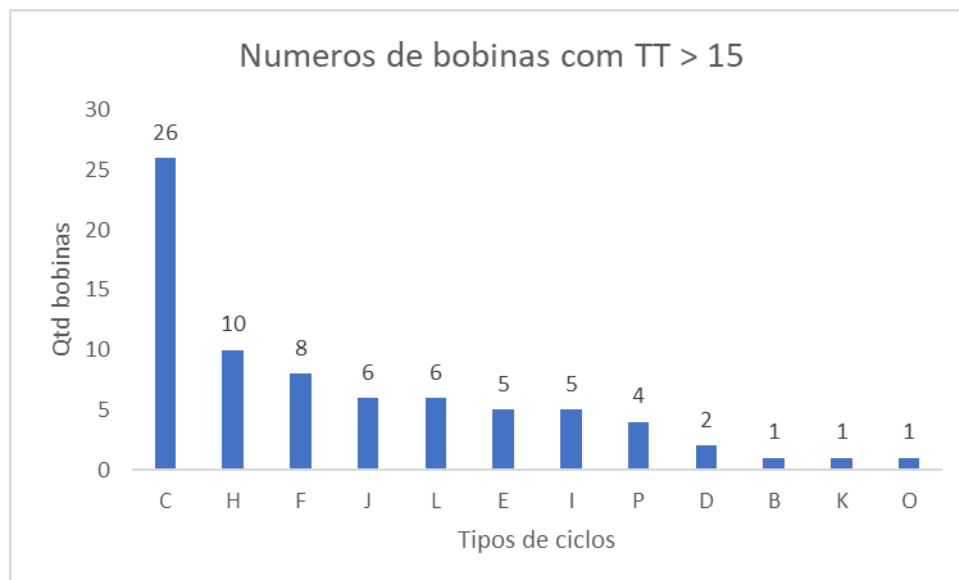


Figura 4 – Bobinas com tempo de trânsito > 15 (Nº bob = 283)

A Tabela 1 é o resultado da relação de bobinas selecionadas para formar duas cargas. O resultado destas duas cargas tem as características das bobinas que obtiveram o maior valor da função objetivo.

$$\alpha = 1 \text{ e } \beta = 10$$

Bobina	Peso	TT	Ciclo	Largura	Abafador1	Abafador2
C7	17500	13	H	1000	1	0
C128	20175	9	H	1200	1	0
C203	21030	19	H	1200	1	0
C270	19100	10	H	1000	1	0
Total	<b>77805</b>			<b>4400</b>		

Bobina	Peso	TT	Ciclo	Largura	Abafador1	Abafador2
C5	17540	20	H	1000	0	1
C6	17565	15	H	1000	0	1
C81	21470	5	H	1200	0	1
C105	21310	20	H	1200	0	1
Total	<b>77885</b>			<b>4400</b>		

Tabela 1 – Relação de bobinas selecionadas (Nº bob = 283)

A coluna “bobina” tem a lista da identificação das bobinas selecionadas dentre as 283 possíveis. A coluna “Peso” tem os pesos das bobinas cuja soma total máxima permitida é 78000. A coluna “TT” tem o tempo de trânsito de cada bobina. A coluna “Ciclo” apresenta a letra de cada ciclo correspondente para utilização na restrição de agrupamento das cargas com mesma qualidade. A coluna “Largura” tem as larguras das bobinas selecionadas e sua soma não deve ultrapassar o limite máximo hipotético de altura do abafador que é 4400.

Os resultados gerados pelo algoritmo estão nas colunas “Abafador1” e “Abafador2”. Nesta simulação observa-se que a carga formada no abafador 1 e no abafador 2 não foram do ciclo C que tem o maior numero de bobinas com o tempo de trânsito maior que 15 dias. Observa-se que as bobinas do ciclo H foram priorizadas pois a combinação delas formam cargas de maiores pesos.

### 3.2 Simulação com ênfase no peso da formação de carga Nº bob = 200.

A seguinte simulação tem retirada as últimas 83 bobinas do banco de dados restando um total de 200 bobinas para testes. Observa-se na Figura 5 que o comportamento da distribuição das bobinas por ciclo se mantém e o ciclo C tem um maior número de bobinas disponíveis seguido pelas bobinas do ciclo H.

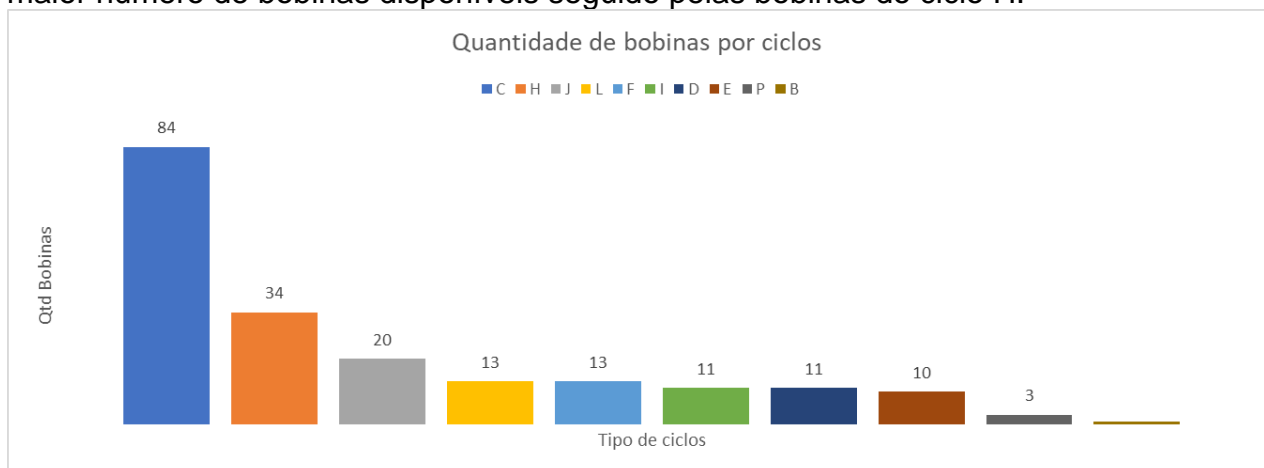




Figura 5 - Distribuição de 200 bobinas por qualidade.

Na Figura 6 tem-se a relação de bobinas com o tempo de trânsito maior que 15 mas para um total de 200 bobinas. O ciclo C permanece com um número maior de bobinas.

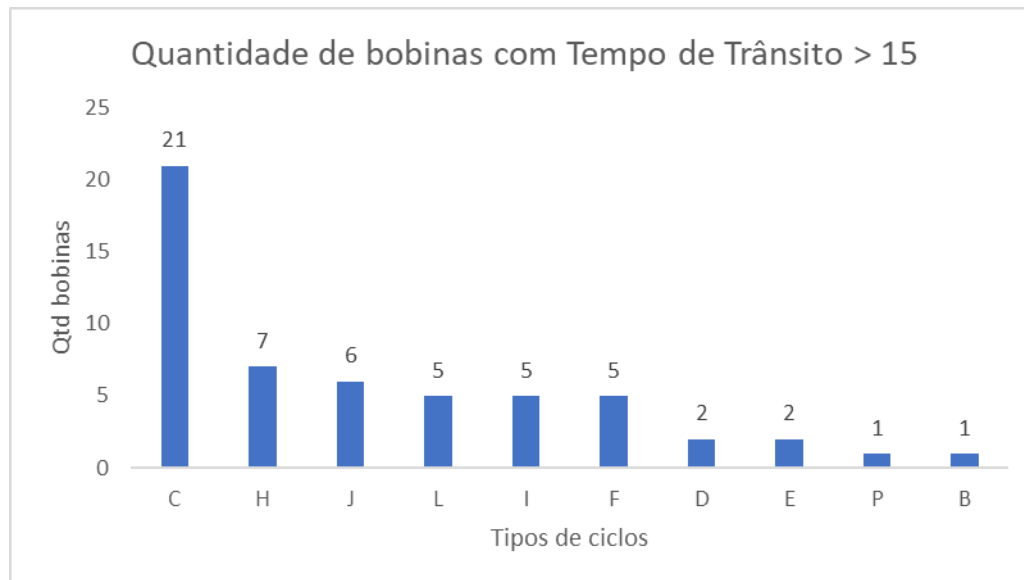


Figura 6 - Bobinas com tempo de trânsito &gt; 15 (Nº bob = 200)

O resultado da formação de carga está na Tabela 2. Como foram retirados do banco de dados as últimas 83 bobinas, agora a função objetivo não mais encontrou duas cargas do ciclo H como sendo a mais atrativa.

Observa-se também que uma das cargas do ciclo H foi mantida o que era esperado, já que esta carga estava na solução ótima da instância anterior e nenhuma das bobinas desta carga foi removida.

$$\alpha = 1 \text{ e } \beta = 10$$

ID_Bob	Peso	TT	Ciclo	Largura	Abafador1	Abafador2
C5	17540	20	H	1000	0	1
C6	17565	15	H	1000	0	1
C81	21470	5	H	1200	0	1
C105	21310	20	H	1200	0	1
<b>Total</b>	<b>77885</b>			<b>4400</b>		

ID_Bob	Peso	TT	Ciclo	Largura	Abafador1	Abafador2
C44	15319	10	D	895	1	0
C45	14011	10	D	790	1	0
C51	15862	16	D	870	1	0
C52	15980	13	D	870	1	0
C57	16016	10	D	870	1	0
<b>Total</b>	<b>77188</b>			<b>4295</b>		

Tabela 2 – Relação de bobinas selecionadas (Nº bob = 200)

### 3.3 Simulação com ênfase no tempo de trânsito da carga N° Bob = 200.

O objetivo agora é mostrar na Tabela 3 que se pode priorizar bobinas com maiores tempos de trânsito. Nesta simulação será multiplicado na função objetivo o  $\alpha = 1$  e  $\beta = 500$ . Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  são usados na função objetivo na equação (8). Os resultados são os seguintes.

$\alpha = 1$  e  $\beta = 10$

ID_Bob	Peso	TT	Ciclo	Largura	Abafador1	Abafador2
C5	17540	20	H	1000	0	1
C6	17565	15	H	1000	0	1
<b>C81</b>	<b>21470</b>	<b>5</b>	<b>H</b>	<b>1200</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
C105	21310	20	H	1200	0	1
<b>Total</b>	<b>77885</b>			<b>4400</b>		

$\alpha = 1$  e  $\beta = 500$

ID_Bob	Peso	TT	Ciclo	Largura	Abafador1	Abafador2
C5	17540	20	H	1000	0	1
C6	17565	15	H	1000	0	1
C105	21310	20	H	1200	0	1
<b>C128</b>	<b>20175</b>	<b>9</b>	<b>H</b>	<b>1200</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>Total</b>	<b>76590</b>			<b>4400</b>		

ID_Bob	Peso	TT	Ciclo	Largura	Abafador1	Abafador2
<b>C44</b>	<b>15319</b>	<b>10</b>	<b>D</b>	<b>895</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
C45	14011	10	D	790	1	0
C51	15862	16	D	870	1	0
C52	15980	13	D	870	1	0
C57	16016	10	D	870	1	0
<b>Total</b>	<b>77188</b>			<b>4295</b>		

ID_Bob	Peso	TT	Ciclo	Largura	Abafador1	Abafador2
C45	14011	10	D	790	1	0
<b>C47</b>	<b>15182</b>	<b>17</b>	<b>D</b>	<b>825</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
C51	15862	16	D	870	1	0
C52	15980	13	D	870	1	0
C57	16016	10	D	870	1	0
<b>Total</b>	<b>77051</b>			<b>4225</b>		

Tabela 3 – Carga formada com ênfase no tempo de trânsito (N° bob = 200)

As bobinas destacadas em vermelho são as bobinas que foram substituídas visando atender a função objetivo que prioriza o tempo de trânsito. Note que apesar de priorizar com menor intensidade o peso total da carga esta mudança no valor de beta garante um importante requisito de qualidade de processo.

### 3.3 Simulação com ênfase no peso e formar 3 cargas N° bob = 200.

Agora é apresentado na Tabela 4 o resultado de formação de três cargas.

$$\alpha = 1 \text{ e } \beta = 10$$

ID_Bob	Peso	TT	Ciclo	Largura	Abafador1	Abafador2	Abafador3
C44	15319	10	D	895	1	0	0
C45	14011	10	D	790	1	0	0
C51	15862	16	D	870	1	0	0
C52	15980	13	D	870	1	0	0
C57	16016	10	D	870	1	0	0
Total	77188			4295			

ID_Bob	Peso	TT	Ciclo	Largura	Abafador1	Abafador2	Abafador3
C5	17540	20	H	1000	0	1	0
C6	17565	15	H	1000	0	1	0
C81	21470	5	H	1200	0	1	0
C105	21310	20	H	1200	0	1	0
Total	77885			4400			

ID_Bob	Peso	TT	Ciclo	Largura	Abafador1	Abafador2	Abafador3
C108	23875	20	L	1430	0	0	1
C129	14750	1	L	800	0	0	1
C130	14810	17	L	800	0	0	1
C132	23600	9	L	1360	0	0	1
Total	77035			4390			

Tabela 4 – Três Cargas formadas (Nº bob = 200)

Observa-se que as duas primeiras cargas se mantiveram iguais as duas cargas formadas na tabela 2 adicionado a terceira carga do ciclo L.

Neste modelo, o tempo de execução é apresentado na Figura 7 e tem um comportamento exponencial em função do número de bobinas e do número de cargas que se deseja formar.

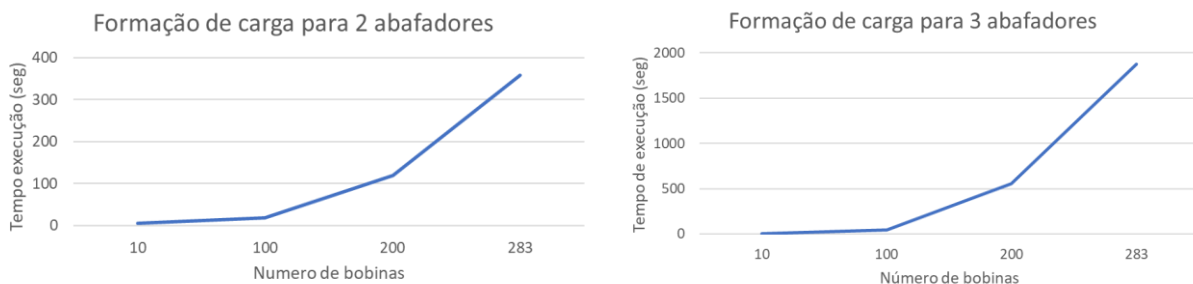


Figura 7 – Comparação de tempo de execução.

## 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto a resolução de um problema real siderúrgico baseado no problema das múltiplas mochilas. A utilização da técnica das múltiplas mochilas gerou soluções exatas e pôde ser comprovado pelos experimentos realizados. Mesmo diminuindo os dados da instancia testada o resultado gerado manteve a priorização das bobinas previamente selecionadas, o que comprova que a resolução dos problemas práticos por programação linear é sempre exata.

Devido à sua complexidade exponencial, houve aumento no tempo de execução computacional de quase cinco vezes para a maior instância, no que se refere a inclusão de um abafador a mais, e indica um aumento substancial no volume de recursos computacionais necessário para resolver o problema em um tempo razoável.

A parametrização dos valores de  $\alpha$  e  $\beta$  na função objetivo prioriza formação de cargas maiores, caso o estoque não possua bobinas com o tempo de trânsito a vencer. Do mesmo modo, pode-se decidir em priorizar as bobinas com tempo de trânsito a vencer de modo a garantir a qualidade exigida pelo processo.

Este trabalho possibilita gerar ótimos resultados para o processo através da redução de custos com utilidade (gases) e aumento da produtividade do equipamento devido a maior utilização dos espaços interno do abafador para cada carga formada.

Estima-se um aumento de 5% do peso total da carga se comparado com a práticas manuais atuais de processo.

### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) pelo incentivo no desenvolvimento desse trabalho e por permitir sua publicação, em especial ao Engenheiro Luiz Eduardo Vilas Boas e Engenheira Nilza Cristina Sabioni Boechat Zwirman, assim como, todos que contribuíram para este trabalho.

### REFERÊNCIAS

- 1 BORGES, flávio hasenclever; dalcol, paulo roberto tavares. Indústrias de processo: comparações e caracterizações. **Enegep**, curitiba – pr, p. 1-9, 22 out. 2002. Disponível em: [www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2002\\_tr12\\_0657.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr12_0657.pdf). Acesso em: 05 maio 2019.
- 2 SAID. A survey of effective heuristics and their application to a variety of knapsack problems [survey]. France: universit'e de valenciennes, le mont ouy; 2008 [jma journal of management mathematics (2008) 19, 227–244]. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/238875249\\_a\\_survey\\_of\\_effective\\_heuristics\\_and\\_their\\_application\\_to\\_a\\_variety\\_of\\_knapsack\\_problems](https://www.researchgate.net/publication/238875249_a_survey_of_effective_heuristics_and_their_application_to_a_variety_of_knapsack_problems)
- 3 CARVALHO, érica da costa reis; silva, michelli marlane da. Otimização do problema da mochila. Unipac, barbacena - mg, p. 1-14, 22 out. 2011. Disponível em: [https://www.unipac.br/site/bb/bb\\_tcc\\_res.php?id=392](https://www.unipac.br/site/bb/bb_tcc_res.php?id=392). Acesso em: 30 maio 2019.
- 4 BRETAS, thiago lomas. Problema da mochila inteira aplicado em decisões de compra de aparelhos de atividades desportivas: modelo e aplicação. **Ufop**, ouro preto - mg, p. 1-26, 22 maio 2016. Disponível em: [professor.ufop.br/sites/default/files/andre/files/thiago\\_lomas\\_bretas.pdf](http://professor.ufop.br/sites/default/files/andre/files/thiago_lomas_bretas.pdf). Acesso em: 30 maio 2019.