

## ARTIGO

APLICAÇÃO DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES: ESTUDO DE CASO EM UMA  
CALCINAÇÃO<sup>1</sup>

Diego Rodrigues Moreira<sup>2</sup>  
Luiza Bernardes Real  
Miguel Rivera Peres Júnior  
Nayara Teixeira Santos

## RESUMO

Considerada como um paradigma de administração da produção, a Teoria das Restrições (TOC) avalia que qualquer sistema possui ao menos uma restrição (gargalo produtivo) que o limita a atingir suas metas. Este trabalho tem como objetivo apresentar propostas de melhoria associadas ao processo de calcinação em uma empresa localizada na cidade de Pains, Minas Gerais (MG), através da aplicação de princípios da TOC. Foram identificadas, através do estudo de caso, as operações que limitam a capacidade produtiva do sistema. Em seguida, estratégias para aumentar a capacidade produtiva da empresa foram sugeridas. Porém, cabe à direção da empresa a escolha da melhor alternativa, de ordem econômica e operacional.

**Palavras-chave:** Teoria das restrições. Administração da produção. Gargalos. Calcinação.

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios enfrentados pelo meio industrial consiste na eficiente e correta utilização dos recursos disponíveis para a produção, sejam estes operacionais ou humanos. A necessidade da transformação de produtos em larga escala a uma velocidade cada vez maior, em conjunto com a constante exigência por redução de custos e investimentos, valoriza cada vez mais a aplicação de métodos e conceitos que conduzam a uma utilização eficaz dos recursos alocados nas unidades fabris (GRAEML; PEINADO, 2007).

A cal produzida no Brasil (em sua maioria) é resultado da calcinação de calcários/dolomitos metamórficos de pureza e idades geológicas diferentes. Segundo o Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), na região sul-sudeste predominam as cales provenientes de dolomitos e calcários magnesianos. Ainda segundo o IBS, o principal produto

<sup>1</sup>**Como citar este artigo:** MOREIRA, Diego Rodrigues *et al.* Aplicação da teoria das restrições: estudo de caso em uma calcinação. **ForScience:** revista científica do IFMG, Formiga, v. 7, n. 1, e00434, jan./jun. 2019. DOI: 10.29069/forscience.2019v7n1.e434.

<sup>2</sup>**Autor para correspondência:** Diego Rodrigues Moreira, e-mail: diegomoreirard@hotmail.com.

da calcinação da rocha é a cal virgem, a qual sofre alteração em temperatura de 900 a 1200°C (IBS, 2008).

A empresa estudada produz cal virgem e cal hidratada com diversas granulometrias e especificações de acordo com o pedido do cliente. Nos últimos anos, devido ao crescimento do mercado, a demanda da empresa vem aumentando progressivamente. No entanto, a empresa não tem conseguido atender a todos os pedidos que recebe. Sua capacidade produtiva atual está fazendo com que pedidos de clientes sejam rejeitados, implicando em perda de receita para a organização. Este revés abre espaço para questionamentos quanto à existência de restrições na produção que diminuem a eficiência produtiva da empresa, limitando sua competitividade no mercado.

No Brasil, um dos setores básicos da economia é a mineração. De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2015), o estado de Minas Gerais efetua aproximadamente 53% da produção de minerais metálicos do país e 29% de minérios em geral. O IBRAM destaca que, das 100 maiores mineradoras do país, 40 estão localizadas em Minas Gerais. O calcário é um dos principais minerais extraídos em Minas Gerais. A J. Mendo Consultoria (2009) aponta que, na região do Centro-Oeste mineiro, a economia está fortemente ligada às indústrias de cal, sendo que o setor sustenta em média 40% da população, atingindo principalmente municípios como Formiga, Córrego Fundo, Pains e Arcos.

Apesar da relevância do setor de cal para a economia do país, existem poucas pesquisas aplicadas a essa área. Neste contexto, estudos direcionados para o processo de calcinação, mais ainda, para empresas calcárias do Centro-Oeste mineiro, são essenciais para o desenvolvimento da região. Dessa forma, o presente trabalho tem o objetivo de identificar gargalos existentes nessa empresa de calcinação, através da aplicação de princípios da Teoria das Restrições (*Theory of Constraints - TOC*), e então, propor sugestões para aumentar a capacidade produtiva do sistema.

Este artigo está dividido em quatro seções. Na segunda seção, apresenta-se o referencial teórico relativo à Teoria das Restrições com enfoque para as diretrizes dos seus cinco passos de focalização. Na seção 3, descreve-se o processo produtivo em questão, a aplicação das cinco etapas de focalização e analisam-se os possíveis resultados. Por fim, na quarta seção, a conclusão do trabalho é exposta.

## 2 A TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Conhecida no meio acadêmico como uma filosofia gerencial, a Teoria das Restrições (TOC) é resultante dos trabalhos realizados pelo físico israelense Elyahu M. Goldratt, no início da década de 1970 (CORBETT, 1997). Na época, ele passava por problemas de logística de produção e não encontrando soluções nos métodos tradicionais de administração da produção existente, criou um novo método (GOLDRATT; COX, 1992).

Com o objetivo de popularizar o método de gestão criado, no ano de 1992, Goldratt, juntamente com o autor Jeff Cox, publicaram o livro "A meta". O livro se apresenta em forma de romance e narra os desafios enfrentados por um gerente de produção na gestão de uma empresa. Ao longo da narração, o gerente da fábrica consegue aumentar a competitividade da empresa e resolver seus problemas de gestão na produção, ao desvendar e aplicar os princípios da Teoria das Restrições.

Segundo a TOC, toda empresa é um sistema tangível da qual o desempenho resulta da maneira como relacionam seus processos. Goldratt (1998) sugere uma analogia desse sistema comparando-o com uma corrente em que cada área ou setor organizacional corresponde a um elo. Dessa maneira, quanto mais departamentos (ou fase de produção) uma empresa tiver, maior será a corrente. Padoveze (1994) complementa este pensamento ao indicar que, quanto maior a força de tração imposta em alguma extremidade da corrente, de alguma maneira isso acarretará no rompimento de seu elo mais fraco. O autor ainda conclui que, desse modo, quem determinará a resistência de uma corrente será este elo mais fraco. Dessa forma, deve-se aumentar a resistência desse elo para que ele possa ter uma resistência maior. Analogicamente, esse elo mais fraco simboliza uma restrição.

Restrição pode ser definida como qualquer coisa que impeça o sistema de melhorar o seu desempenho em relação à meta definida, uma vez que limita a atuação do sistema como um todo (GOLDRATT; COX, 1992). Segundo Cox III e Spencer (2002), o recurso que possui uma capacidade de operação inferior aos outros existentes no sistema pode ser nomeado como "gargalo".

De acordo com a TOC, todo sistema possui, no mínimo, uma restrição que limita seu desempenho (COX III; SPENCER, 2002). Tal afirmação, segundo Corbett (1997, p.40) "[...] é explicada pelo fato de que se não houvesse algo que limitasse o desempenho do sistema, este seria infinito. Se uma empresa não possuísse uma restrição, seu lucro seria infinito". A Teoria

institui então que se faça uma intervenção nas principais restrições (gargalos), criando, assim, uma oportunidade de melhoria (GOLDRATT; COX, 1992).

Ainda nesse contexto, Peleias (2002), acrescenta que restrição pode ser classificada de duas maneiras: restrições físicas e restrições políticas. Segundo o autor, as restrições físicas estão relacionadas ao fornecimento de materiais, mercado e capacidade produtiva. Por outro lado, as restrições políticas são aquelas formadas por normas, procedimentos e práticas usuais do passado, as quais restringem as empresas de aumentar seus lucros (CORRÊA; GIANESI, 1996). No sentido de originar uma melhoria, a TOC trata estas restrições com a finalidade de determinar uma elevação da capacidade de todo sistema.

No livro “A Meta”, Goldratt e Cox (1992) discorrem que, para efeitos de melhoria contínua, é necessária a adoção de passos específicos, os quais, posteriormente, foram denominados como metodologia das 5 etapas de focalização, que consistem em:

**Passo 1 - Identificar a Restrição:** identificar as restrições que impedem a organização de atingir sua meta. Em síntese, quando uma demanda total é maior que a capacidade da fábrica, diz-se que existe um gargalo de produção (restrição física). Entretanto, quando a capacidade de produção é superior à demanda, temos uma restrição externa ao sistema (restrição política).

**Passo 2 - Explorar a Restrição:** identificado o elemento restritivo, torna-se necessário explorá-lo, ou seja, tirar o máximo proveito dele, obtendo o melhor resultado possível dentro da sua condição.

**Passo 3 - Subordinar a Restrição:** nesta etapa, os elementos não-restritivos devem ser administrados de forma que eles assegurem a capacidade máxima da restrição, ou seja, os demais recursos devem trabalhar no ritmo da restrição.

**Passo 4 - Elevar a Restrição:** o objetivo nesta etapa é aumentar a capacidade da restrição, ou seja, reforçar o elo mais fraco da cadeia. Esta etapa se diferencia da segunda, uma vez que, na segunda aproveita-se o máximo da capacidade da restrição e a quarta faz utilização de aumento de recursos para melhorias.

**Passo 5 - Voltar ao Primeiro Passo:** no último passo, após eliminação da restrição identificada, deve-se voltar à primeira etapa, verificando-se a existência de um novo gargalo no sistema.

Ainda de acordo com o livro “A meta”, a metodologia das 5 etapas de focalização desencadeia a programação da produção por meio da lógica Tambor-Pulmão-Corda (TPC). Esta lógica viabiliza uma sincronização da produção por meio do balanceamento do fluxo de produção e não da capacidade individual de cada elemento (GOLDRATT; COX, 1992).

Em suma, segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), o tambor corresponde ao gargalo do sistema e as batidas do tambor são os programas de produção, os quais estabelecem quando e qual material deve ser processado por cada recurso do sistema. Ainda segundo os autores, o pulmão é um estoque regulador que mantém o gargalo sempre ocupado e, por fim, a corda é um mecanismo de controle para unir o início e o fim de cada produção.

Todo esse arcabouço conceitual permitiu que a TOC passasse a ser considerada como uma ferramenta teórica que aborda, de forma mais unificada, uma série de conceitos tradicionais dispersos no campo da Gestão das Operações (GUPTA; BOYD, 2008). Nesse sentido, sua utilização como ferramenta gerencial e como suporte teórico em pesquisas empíricas se disseminou.

Inicialmente, segundo Cox III e Spencer (2002), a difusão da TOC ocorreu no âmbito da administração da produção. Porém, devido a sua múltipla aplicação, a TOC passou a ser usada nas demais áreas organizacionais. Ainda segundo os autores, já são conhecidas aplicações da TOC em áreas como marketing e vendas, finanças e contabilidade, gerência de projetos, cadeias de suprimento e manufatura. No campo acadêmico, Mabin e Balderstone (2008) identificaram mais de 400 artigos e 45 livros apenas no intervalo de 1992 a 2002.

Dentre as pesquisas sobre a aplicação prática da TOC, se destacam, em questão de quantidade, as pesquisas referentes em empresas de manufatura (MABIN; BELDERSTONE, 2008). Processos de melhoria de produção e decisão de *mix* de produtos são pontos alvo destes estudos, como por exemplo, os estudos de Cook (1994) e dos autores Sobreiro e Nagano (2013). Além de exemplos da aplicação da TOC em empresas de manufatura, também existem estudos que apontam sua aplicabilidade em outros setores empresariais, incluindo distribuição, marketing, gerenciamento de projetos e contabilidade (BALDERSTONE; MABIN, 1998; COGAN, 2005; MYRELID; OLHAGER, 2014).

Mabin e Balderstone (2008) desenvolveram um projeto de pesquisa, no qual, baseado em literatura pertinente a aplicações da Teoria das Restrições, apresentam os resultados de uma meta-análise de mais de 80 aplicações bem-sucedidas da Teoria. Concomitantemente, os autores em suas pesquisas ainda apontam que, apesar de extensas investigações, não foram encontrados relatos de falhas quanto a aplicabilidade da TOC.

### 3 ESTUDO DE CASO

Esta seção tem como objetivo demonstrar a aplicação prática das 5 etapas de focalização propostas na abordagem da Teoria das Restrições. Após a descrição do processo produtivo da empresa, cabe avaliar, segundo a perspectiva da TOC as etapas do sistema para trabalhar os gargalos e aplicar a lógica da melhoria contínua.

O primeiro passo, então, consiste em identificar o gargalo do sistema. Em seguida, esse gargalo é explorado e as demais atividades do processo são subordinadas ao ritmo do gargalo. Por fim, apontam-se maneiras de aumentar a capacidade da restrição identificada.

#### 3.1 Descrição do Processo Produtivo

A empresa estudada trabalha em um regime de 24 horas por dia e utiliza três turnos de trabalho para a produção da cal. A matéria-prima utilizada no processo produtivo é a rocha calcária dolomita. A rocha calcária é adquirida a granel, previamente britada com granulometria variável com diâmetros de até 110 milímetros. O transporte da matéria-prima é feito por caminhões basculantes, com capacidade de 12 toneladas. O caminhão, ao chegar a fábrica, é pesado e encaminhado à área de recepção de matéria-prima, onde é realizada a descarga. A descarga é feita em uma área denominada "Área de Abastecimento" que é composta por duas pilha-pulmão confeccionadas em alvenaria, com capacidade de 550 toneladas cada. A matéria-prima então permanece temporariamente nesta área para abastecer o processo de produção. A Figura 1 mostra o fluxograma resumido do processo de produção da cal da empresa estudada.

Utilizando uma "Pá carregadeira", parte das pedras são encaminhadas gradativamente em função da produção para um depósito de alvenaria denominado "Chute de Pedra", com capacidade de armazenamento de 550 toneladas, onde aguarda a continuidade do processo. A capacidade de transporte da "Pá carregadeira" nunca foi mensurada pela empresa, porém os funcionários responsáveis pela produção alegam que ela possui capacidade média de 12 toneladas/hora. A matéria-prima é retirada do "Chute de Pedra" e encaminhada até a fase de classificação primária, utilizando um "Transportador de Correia" (com capacidade de 12 toneladas/hora) que recebe a matéria prima pela parte inferior do chute, por meio de calhas vibratórias, e posteriormente a conduz à peneira vibratória, conforme ilustra a Figura 1.

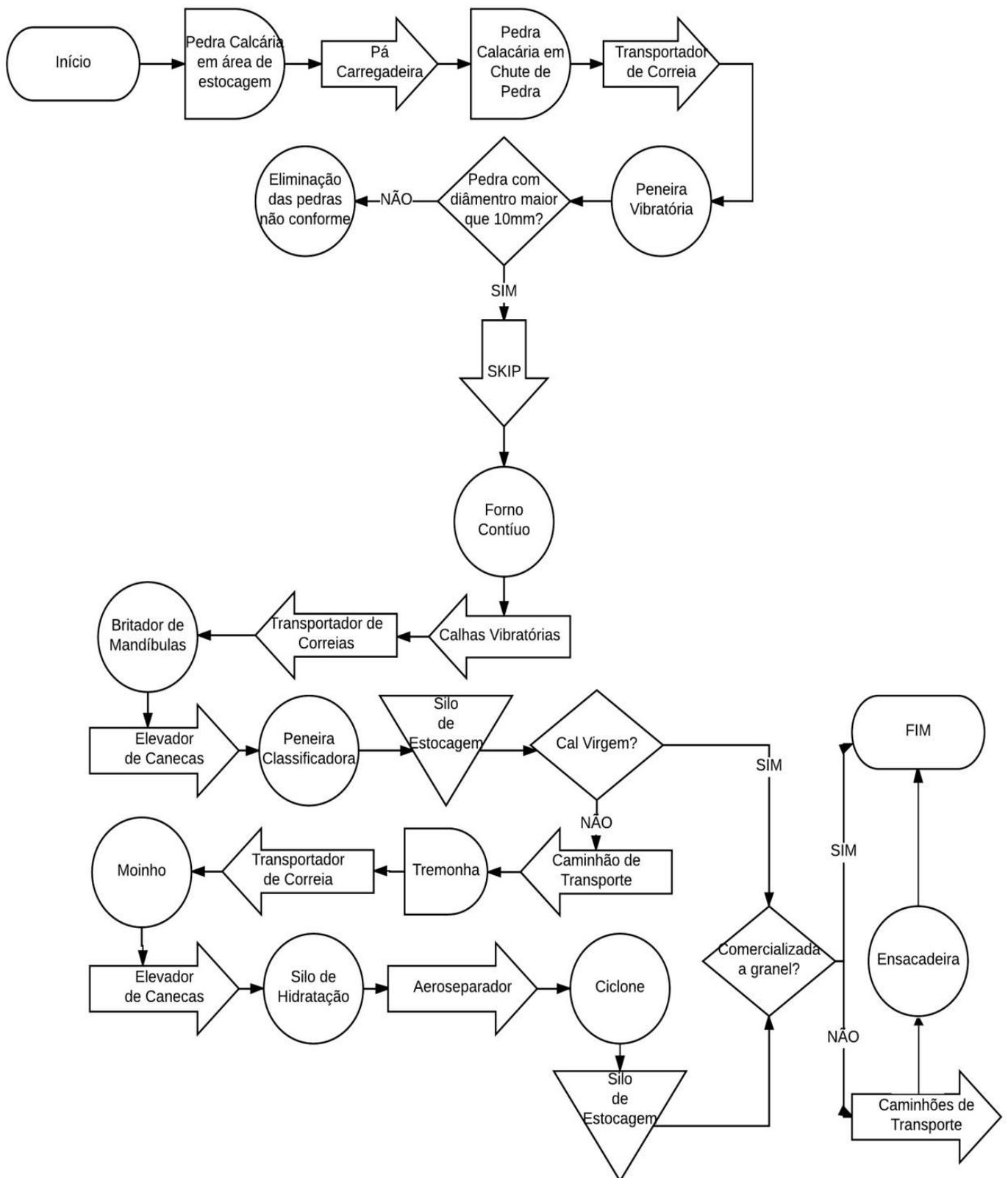


Figura 1 - Fluxograma de Produção  
 Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

A classificação primária acontece na "Peneira Vibratória", que realiza uma seleção primária, classificando o material de alimentação do "Forno" quanto à sua granulometria. Esta peneira é confeccionada em aço carbono e possui capacidade máxima de 6 toneladas/hora. Seleciona as pedras com diâmetro superior a 10 mm que, após lavadas com água corrente, são destinadas diretamente à alimentação do "Forno". O material não selecionado é classificado como resíduo de produção e é conduzido e armazenado em uma caçamba a ser destinado à comercialização como brita.

A matéria-prima selecionada é encaminhada ao "Forno" por meio de um dispositivo transportador de sapata denominado "*Skip*". O "*Skip*" possui uma capacidade de 1,8 tonelada/hora e deposita, pela parte superior do "Forno", a matéria-prima em um silo dosador. O silo dosador localizado na parte superior do "Forno" o alimenta em bateladas. Este "Forno" é classificado como contínuo (11 toneladas/hora), operando interruptamente; é confeccionado em aço carbono e revestido interiormente de tijolos refratários.

A carga de calcário disposta no interior do "Forno" é processada absorvendo calor proveniente de uma corrente ascendente de gases quentes, recebendo calor com intensidade progressiva variando de 160 a 900°C. O calor induzido ao "Forno" é derivado da utilização de lenha de eucalipto como combustível, promovendo a retirada de umidade do material sólido (pedra calcária) e efetuando a dissociação do calcário. Todo o processo interno ao "Forno" é controlado e mensurado por instrumentos indicadores de temperatura, vazão de entrada e saída de gases, pressão de serviço, bem como a classificação física da cal, promovida pelo operador.

Todo o processo de produção ocorrido no interior do "Forno" tem duração de 24 horas, completando, assim, o processo de calcinação e estabelecendo o produto final, a cal. Quando atingem a coloração avermelhada, os forneiros descem as pedras, que estão no ponto para um compartimento acoplado ao "Forno", denominado "Zona de Resfriamento", que tem o papel de resfriar a cal através da troca de calor com a temperatura ambiente. O produto resfriado é retirado pela parte inferior do "Forno" por gravidade, utilizando "Calhas Vibratórias" (capacidade de 6 toneladas/hora) com descargas em bateladas e conduzido à britagem através de um "Transportador de Correia", capacidade de 12 toneladas/hora cada.

A cal é encaminhada ao "Britador de Mandíbulas", também com capacidade de 6 toneladas/hora, onde ocorre o processo de britagem com o objetivo de adequar o produto à granulometria comercial, ou seja, toda a cal com diâmetro superior a 40 mm será reduzida a diâmetros variáveis de 10 a 40 mm. Promovida a moagem, a cal é conduzida por gravidade até

o "Elevador de Canecas", onde passa pela "Peneira Classificadora", ambos com capacidade de 6 toneladas/hora. Posteriormente, a cal é classificada por tamanho e segue para dois silos de estocagem confeccionados em aço carbono com capacidade de 450 toneladas cada.

Após a realização dos procedimentos supracitados, a cal disposta nos "Silos de Estocagem" está pronta para ser comercializada como Cal Virgem Calcítica. A empresa faz a comercialização da cal de duas maneiras: a granel, na qual o Silo abastece diretamente os caminhões que se posicionam abaixo do dosador, ou em *big bags* de 1.000 kg cada. Neste segundo caso, a cal é destinada à "ensacadeira", que possui capacidade de produção de até 70 toneladas/hora. Esse transporte é realizado por um caminhão basculante com capacidade de 12 toneladas. Segundo os funcionários responsáveis, o tempo estimado em que o caminhão realiza as operações de carga, transporte e descarga na "ensacadeira" é de aproximadamente 15 minutos.

O segundo produto oriundo do processo produtivo da empresa é a Cal Hidratada Calcítica. O processo de produção desta cal se inicia a partir da produção final da Cal Virgem, ou seja, a partir do "Silo de Expedição". A cal britada armazenada no silo é transportada por um caminhão basculante (com capacidade de transporte de 48 toneladas/hora) e descarregada em uma tremonha, a qual possui capacidade de armazenamento de 70 toneladas. Esta tremonha abastece o sistema de hidratação a uma velocidade de 60 toneladas/hora. A cal é conduzida por "Correias Transportadoras" com capacidade de 10 toneladas/horas para um "Moinho", com a mesma capacidade, onde a granulometria é adequada para alimentar o sistema de hidratação.

A cal moída é direcionada por "Elevador de Canecas" (10 toneladas/hora) para um "Silo" com capacidade de 45 toneladas/hora, onde ocorre a hidratação. A hidratação ocorre por meio da adição de água, a qual é misturada e posteriormente, levada por aeroseparadora um "Ciclone", com capacidade de 10 toneladas/hora cada. Após essa etapa, que tem o objetivo de classificar a Cal Hidratada conforme sua granulometria, o produto é direcionado a 4 "Silos de Expedição", dois com capacidade de 180 toneladas cada e os outros dois com capacidade de 90 toneladas cada. Então, a Cal Hidratada Calcítica está pronta para ser comercializada, e segue a mesma lógica de expedição da Cal Virgem, sendo disposta a granel ou em *big bags*.

## 3.2 Aplicação das 5 Etapas de Focalização da TOC

### 3.2.1 Identificar a Restrição

Uma vez que a empresa já opera com sua capacidade total, em termos de mão de obra e turnos de produção, uma possível restrição de não uso da total capacidade produtiva já é descartada. Em relação ao uso de maquinário, a capacidade produtiva total conhecida atualmente também está em sua utilização máxima. Ao analisar o mercado e os históricos de pedidos da empresa, é possível notar que a demanda também não se comporta como uma restrição.

A empresa estudada apresenta clientes fixos que mantêm demandas relativamente constantes. Estes clientes são atendidos totalmente pela empresa. À medida que clientes novos solicitam pedidos à empresa, há a necessidade de dispensar estas novas produções por incapacidade de realizar além do que já é produzido para os clientes fixos. Esta situação valida a ideia de que a demanda não se apresenta como restrição, indicando que a empresa, neste momento, está isenta de restrições políticas.

Ao analisar as vendas da empresa dos dois últimos anos, nota-se que a quantidade de Cal Virgem vendida, ultrapassa a quantidade fabricada da mesma. Isso é possível devido a uma parceria que a empresa possui com seus concorrentes. Uma vez que a qualidade de sua Cal Hidratada sobressai a dos seus concorrentes, a empresa realiza uma “troca”. Seus concorrentes fornecem uma quantidade de Cal Virgem à empresa. Ela processa uma parte, devolvendo-a em forma de Cal Hidratada a seus concorrentes. A outra parte é usada para revenda a seus clientes fixos. Esta situação reforça a ideia de que a empresa precisa passar por um reajuste de produção e que um aumento de produção traria benefícios econômicos.

Dessa forma, para identificar a restrição física da empresa, é preciso analisar o seu processo produtivo. Por meio das informações levantadas junto à empresa e da descrição do processo produtivo, foi possível estimar os tempos de processamento dos elementos do sistema. Esses valores estão apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3. Para a elaboração das tabelas, o processo produtivo foi segmentado em 3 ciclos:

- **Ciclo 1:** Processo de produção da Cal Virgem Calcítica do momento da concepção da matéria prima até a estocagem do produto final no Silo.
- **Ciclo 2:** Processo de produção da Cal Hidratada Calcítica. Este processo tem início a partir do Silo de Estocagem da Cal Virgem, já que esta é procedente da Cal Virgem.

- **Ciclo 3:** Este ciclo é executado somente quando a comercialização dos dois tipos de Cal produzidos pela empresa é feita em *big bags*. Assim, o ciclo tem início nos Silos de Estocagem tanto da Cal Virgem, quanto da Cal Hidratada e encerra na escadeira onde o produto em *big bags* já é destinado ao consumidor.

Tabela 1– Tempos de processamento do Ciclo 1

Operação	Capacidade	Tempo gasto (uma ton.)
Área de Estocagem de pedra calcária	1.100 toneladas	-
Pá Carregadeira	12 (ton/h)	5 minutos
Chute de Pedra	550 toneladas	-
Transportador de Correia	12 (ton/h)	5 minutos
Peneira Vibratória	6 (ton/h)	10 minutos
“Skip”	1,8 (ton/h)	aprox. 33min. e 20s.
“Forno” Contínuo	11 (ton/h)	aprox. 5min. e 27s.
Calha Vibratória	6 (ton/h)	10 minutos
Transportador de Correia	12 (ton/h)	5 minutos
Britador de Mandíbulas	6 (ton/h)	10 minutos
Elevador de Canecas	6 (ton/h)	10 minutos
Peneira Classificadora	6 (ton/h)	10 minutos
Silo de Estocagem	900 toneladas	-

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Tabela 2 - Tempos de processamento do Ciclo 2

Operação	Capacidade	Tempo gasto (uma ton.)
Silo de Estocagem	900 ton.	1 minuto
Tremonha	Armazenamento: 70 ton. Transporte: 60 (ton./h)	1 minuto
Correias Transportadoras	10 (ton/h)	6 minutos
Moinho	10 (ton/h)	6 minutos
Elevador de Canecas	10 (ton/h)	6 minutos
Silo de Hidratação	45 (ton/h)	aprox. 1min. e 20s.
Aeroseparador	10 (ton/h)	6 minutos
Ciclone	10 (ton/h)	6 minutos
Silos de Estocagem	540 toneladas	---

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Tabela 3 - Tempos de processamento do Ciclo 3

Operação	Capacidade	Tempo gasto (uma ton.)
Silos de Estocagem	Cal Virgem: 900 ton. Cal Hidratada: 540 ton.	----
Caminhão de Transporte	48 (ton/h)	Aprox. 1min. E 15s.
Ensacadeira	70 (ton/h)	Aprox. 1min. e 10s.

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

A partir dos dados apresentados, nota-se claramente que a restrição atual de produção é a operação denominada "*Skip*", no Ciclo 1. Esta operação possui um tempo de execução aproximadamente 611% vezes maior que a operação que a segue, demonstrando, assim, que este gargalo necessita ser explorado com urgência. Analisando os Ciclos 2 e 3, notamos que os tempos de processamentos das operações em questão são bem inferiores aos tempos do Ciclo 1, o que reforça a ideia de que, caso aumentado a capacidade produtiva no Ciclo 1, o restante do sistema tem capacidade para suprir esta demanda adicional.

### 3.2.2 Explorar a Restrição

Nesta etapa, o objetivo é utilizar recursos e equipamentos já existentes para elevar a capacidade da restrição identificada anteriormente, o "*Skip*". Esse equipamento alimenta o Silo dosador, que alimenta o "Forno". O Silo dosador acoplado ao "Forno" possui capacidade de armazenamento de 15 toneladas. No entanto, o "Forno", que é o elemento principal do processo de produção da Cal, só pode receber 11 toneladas de calcário por hora. Uma vez que o "*Skip*" possui capacidade de despejo de 1,8 ton/h, o processo de abastecimento do "Forno" fica com uma carência de 9,2 ton/h.

Para suprir tal carência, a empresa pode alocar dois funcionários, na tentativa de sanar esta demanda. Nas mensurações realizadas, cada funcionário consegue, manualmente, inserir no máximo 4 toneladas no Silo dosador. Ou seja, quando os funcionários trabalham na sua capacidade máxima, conseguem um montante de 8ton/h, que somadas com a capacidade do "*Skip*" totalizam 9,8 ton/h, desperdiçando por volta de 1,2 ton. da capacidade do "Forno". Porém, nota-se que na prática não é isto que acontece.

Ao analisarmos a tabela dos tempos de processamento do Ciclo 1 (Tabela 1), verifica-se que o processo anterior ao "*Skip*", denominado Peneira Vibratória, possui capacidade máxima de 6 ton/h. Dessa forma, o processo de alimentação "*Skip*"/"Forno" fica subordinado a 6 ton/h, ocasionando desperdício de quase metade da capacidade do componente principal do processo, o "Forno". Nestas condições, este trabalho frisa 3 estratégias para a empresa:

- **Estratégia 1:**

Atualmente adotada pela empresa, a estratégia 1 consiste em realizar a alocação de dois funcionários para o auxílio de preenchimento do "*Skip*". Desta maneira, como ilustra a Figura 2, o conjunto "*Skip*" + Funcionários fica encarregado de preencher o "Forno" com 6 ton/h (1,8

do “*Skip*” + 2,1 de cada funcionário) para que o Silo, assim, preencha o “Forno” com esta quantidade. Analisando as operações que ocorrem após o “Forno”, percebe-se que algumas delas também possuem capacidade limitada a 6 ton/h, ou seja, de nada adianta aumentar a capacidade do “*Skip*”/”Forno” se as funções posteriores se tornarem restrições diretas.

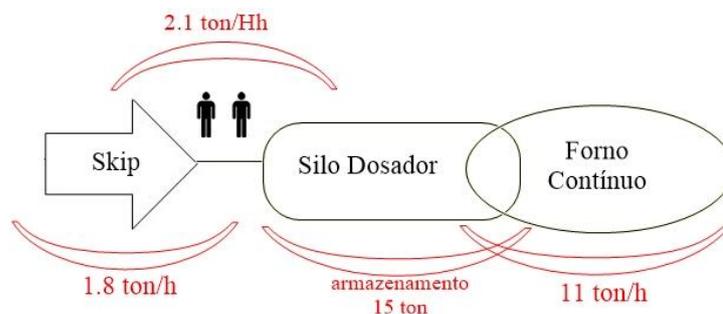


Figura 2 – Estratégia 1

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

- **Estratégia 2:**

A segunda estratégia seria a alocação de três funcionários para o preenchimento do "Skip" e assim trabalhar com a capacidade do “Forno” em 100% (1,8 ton/h do “*Skip*” + 3,07 ton/h de cada funcionário, totalizando 11 ton/h) e, por conseguinte, acabar com a restrição. Porém, como dito anteriormente, temos que o elo anterior ao "Skip", denominado Peneira Vibratória, não consegue atender a demanda que esta alocação geraria (Figura 3). Então, essa estratégia é inicialmente descartada.

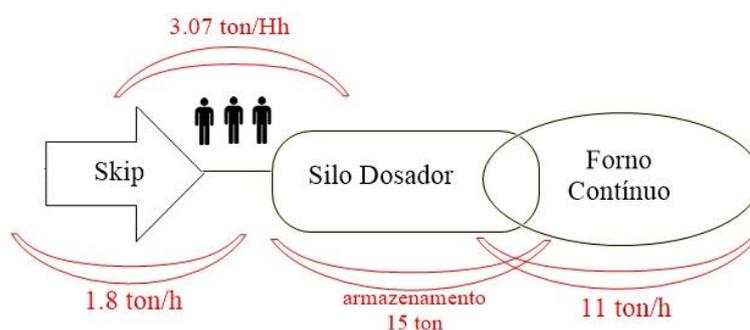


Figura 3 – Estratégia 2

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

- **Estratégia 3:**

Uma vez que o “Forno” precisa passar por manutenções em um período de, no mínimo, a cada dois meses, e que cada manutenção dura um período mínimo de 4 dias, os outros elos do processo produtivo podem continuar em funcionamento. Dado que a “Peneira

Vibratória” tem capacidade máxima de 6ton/h, no período em que o “Forno” estivesse inativo, esta capacidade geraria um estoque no intervalo entre Peneira Vibratória e "Skip". Isso possibilitaria, durante um período, a alocação de mais material para enchimento do "Skip"/"Forno", possibilitando que ele trabalhe, temporariamente, com sua capacidade máxima.

Para que o esquema citado anteriormente funcione, é aconselhada a alocação de três funcionários para a função de preenchimento do "Skip" durante o período em que houver estoque para preenchê-lo. Uma vez realizada essa alocação, cada funcionário terá a tarefa de despejo de aproximadamente 3,07 toneladas por hora (9,2 ton/h / 3 funcionários). Assim, os funcionários deste setor não ficarão sobrecarregados e o Silo dosador receberá o montante de 11 toneladas, suprindo a demanda máxima do Forno. Após o término do estoque antes do “Skip”, o preenchimento do “Skip” volta a ser realizado por dois funcionários, dado que a capacidade máxima voltará a ser 6 ton/h.

Realizando as contas de capacidade, vemos que durante o período de 4 dias em que o “Forno” fica em manutenção, o estoque gerado pela Peneira Vibratória seria de 576 toneladas (4 dias x 24h/dia x 6 ton/h). Levando em consideração que, após o “Forno” voltar às suas funções normais, a Peneira Vibratória mantenha sua capacidade de 6ton/h para abastecer o “Forno” à sua capacidade máxima (11 ton/h), será necessária uma retirada de 5 toneladas por hora do estoque formado. Dessa forma, como ilustra a Figura 4, esse estoque durará aproximadamente 4 dias e 19 horas (576 ton/ (5 ton/h x 24h)). Vale ressaltar que, como o “Forno” trabalhará com sua capacidade máxima durante um período de tempo, será gerado um estoque de material após o elemento “Forno”, pois a velocidade de produção dos elos que o seguem é de 6ton/h. Desta maneira, é importante que, no momento de parada do “Forno”, os processos posteriores a ele continuem seu funcionamento até o momento em que houver material a ser trabalhado.

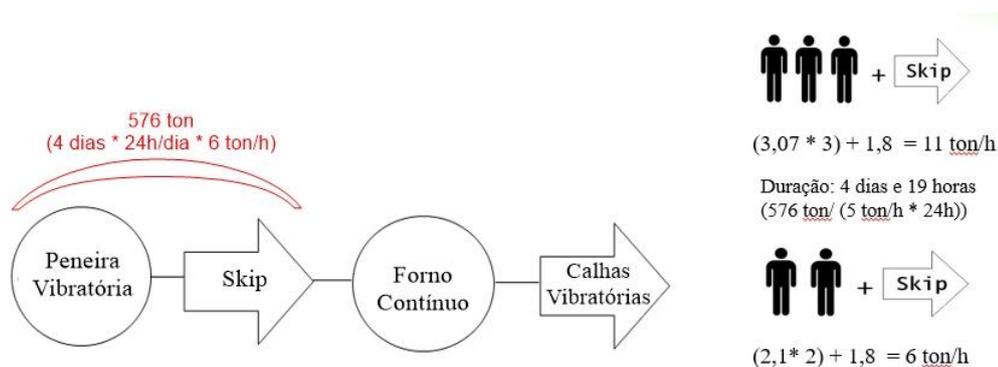


Figura 4 – Estratégia 3

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

### 3.2.3 Subordinar a Restrição

Identificada e explorada a restrição do sistema, o próximo passo consiste em subordinar as outras atividades à restrição. Assim, o passo 3 define o nível de produção das unidades que não são restrições. Para realizar o nivelamento da produção, utiliza-se a metodologia tambor-pulmão-corda.

Ao analisarmos tanto a estratégia 1 quanto a estratégia 3, temos o mesmo tambor: "Skip", uma vez que sua capacidade foi estimada em 6 ton/h. Logo, é necessário subordinar toda a produção do sistema a este elo mais fraco.

Na metodologia tambor-pulmão-corda, tem-se que o elemento pulmão seria uma espécie de estoque regulador para eventuais paradas de algum elemento, principalmente do gargalo. Na estratégia 1, não temos elementos pulmão, porém isto não invalida a aplicação da metodologia. Já na estratégia 3, temos dois pulmões, um antes do "Skip"/"Forno" e um após, para garantir que os demais elementos continuem funcionando por um período de tempo durante as paradas de manutenção do "Forno" ou eventuais ocorrências que impliquem em parada do conjunto "Skip"/"Forno". Esse processo é ilustrado na Figura 5.

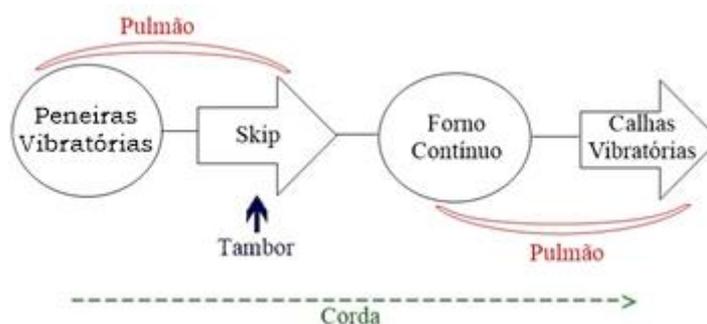


Figura 5 – Tambor-Pulmão-Corda  
Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

O principal elemento a ser explorado nesta fase é a denominação e aplicação do elemento corda. Esta etapa consiste em submeter os demais elementos do processo à velocidade do elo mais fraco, ou seja, fazer com que a produção marche no ritmo do "Skip"/"Forno".

Visto que nas estratégias até então cogitadas, estratégias 1 e 3, a capacidade estimada máxima do gargalo foi de 6 ton/h, a subordinação dos demais elos deve ser feita nesta mesma capacidade. A Pá Carregadeira e os Transportadores de Correias devem trabalhar com 50% da sua capacidade para atender esta velocidade de produção. Os demais elementos, exceto o

"Skip" que foi trabalhado, devem continuar com sua capacidade máxima. Assim, independentemente da adoção da estratégia 1 ou 3, o sistema caminhará em ritmo uniforme.

### 3.2.4 Elevar a Restrição

Apesar dos resultados satisfatórios obtidos na aplicação das etapas anteriores, a operação ainda continua sendo considerada um gargalo. Esta etapa, então, consiste na tentativa de eliminação da restrição. Elevar, neste contexto, significa realizar ações que normalmente estão relacionadas a investimentos em compra de equipamentos, maquinários, contratação de mão de obra, entre outros. No entanto, para que todo o processo realmente trabalhe no ritmo do "Forno", as demais operações do sistema com capacidade de 6 ton/h precisam sofrer expansão dessa capacidade.

A segunda estratégia apresentada consiste em elevar a capacidade de preenchimento do "Skip" com a alocação de três funcionários e, conseqüentemente, fazer com que o "Forno" trabalhe com sua capacidade máxima. No entanto, para que todo o processo realmente trabalhe no ritmo do "Forno", as demais operações do sistema com capacidade de 6 ton/h precisam sofrer expansão. Cabe aqui a aquisição de novos equipamentos: Peneira Vibratória, Calha Vibratória, Britador de Mandíbulas, Elevador de Canecas e Peneira Classificadora.

Com estas aquisições, todo o sistema poderia trabalhar na velocidade do "Forno", que se mostra como componente principal. Então, todo o processo ficaria a uma velocidade de 11 ton/h, usufruindo ao máximo da capacidade produtiva da empresa neste momento.

### 3.2.5 Voltar ao Primeiro Passo

A partir da aplicação dos princípios da TOC, foi possível identificar o gargalo do processo produtivo e então propor mudanças para aumentar a capacidade de produção do processo com um todo. Uma vez quebrada a restrição do sistema, outro gargalo irá surgir de modo conseqüente. Alterar um procedimento do sistema implica em novos tempos e demandas de produção.

Visto que a quebra de uma restrição implica no surgimento de outra, a empresa nunca estará operando com 100% de sua eficiência. Assim, ressalta-se a importância da aplicação do quinto passo: a busca pelo aprimoramento contínuo. É necessário que a empresa esteja sempre

atenta às restrições que irão surgir, sempre voltando ao primeiro passo e efetuando as etapas novamente.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A TOC apresentou-se como uma proposta interessante para a identificação e solução de problemas de produção em uma empresa de calcinação. Uma vez que o presente trabalho tinha intenção de identificar gargalos existentes nessa empresa de calcinação, através da aplicação de princípios da Teoria das Restrições, o mesmo foi atendido quando identificado a operação do "Skip" como sendo o gargalo do processo produtivo analisado. Ele restringe boa parte do processo por não permitir que alguns elos funcionem de acordo com sua capacidade máxima, inviabilizando que o sistema como um todo funcione de maneira otimizada.

A partir desta identificação, foram apresentadas três estratégias para tratar a atividade do gargalo. A primeira e a terceira estratégia consistem em fixar o processo produtivo em uma velocidade de 6 ton/h. Essas estratégias se tornam possíveis, uma vez que, quando alocados dois funcionários para auxiliar o "Skip" no preenchimento do Silo, este procedimento consegue atingir essa meta de velocidade. A diferença da primeira para a terceira estratégia, é que a estratégia número 3 estabelece que, quando o "Forno" para, os demais elementos devem continuar trabalhando, gerando, assim, um estoque (pulmão) antes e depois do elo "Skip"/"Forno". Este estoque proporciona segurança, caso haja uma parada não programada do gargalo e também possibilita, por um período de tempo mencionado, que o "Forno" opere com sua capacidade máxima, alocando temporariamente mais um funcionário para preenchimento do "Skip". A segunda estratégia consiste na elevação das capacidades dos demais elementos do sistema produtivo a partir de aquisição de novos maquinários.

Vale ressaltar que a estratégia de número 1 é a atual praticada pela empresa. No entanto, este trabalho, neste âmbito, serviu como descrição do processo, que até então não havia sido feito pela empresa.

A partir dessas três estratégias, cabe à empresa analisar qual mais se encaixará em sua atual política. Dado que a estratégia 1 está atualmente em uso, a discussão gira em torno das demais estratégias mencionadas. Se a empresa estiver disposta a investir em maquinário, como demonstrado, sua produção poderá crescer cerca de 45%. Uma vez que, nas análises feitas neste trabalho, a empresa não apresenta restrições políticas referentes a mercado, estes

aumentos de oferta de produtos terão clientes em potencial. Cabe, agora, um estudo voltado para a viabilidade de compra desses equipamentos.

Enquanto esse estudo não é feito, é altamente aconselhada a adoção imediata da estratégia número 3, pelos seguintes motivos:

- Não serão alteradas capacidades produtivas já usuais na empresa;
- Não se mostra necessária aquisição de nenhum novo maquinário ou material;
- A implementação de estoques antes e depois do gargalo da produção faz com que o sistema tenha uma segurança, caso o gargalo venha a falhar ou interromper seu funcionamento por alguma causa eventual. No mais, este estoque também possibilita que, por um determinado tempo, o gargalo funcione com sua capacidade máxima, elevando, mesmo que momentaneamente, a capacidade de produção do sistema.

A metodologia adotada também demonstra a necessidade de tornar o processo de melhoria sempre contínuo, evitando a inércia. Em outras palavras, sempre que forem feitas alterações em um elo da cadeia produtiva, o sistema deve ser reavaliado, preocupando-se com as alterações acarretadas.

## **APPLICATION OF THEORY OF CONSTRAINTS: A CASE STUDY AT A CALCINATION**

### **ABSTRACT**

Considered as a production management paradigm, the Theory of Constraints (TOC) is based on the idea that production systems have at least one constraint (production bottleneck), which prevents the systems to achieve their goal. The objective of this paper is to present possible improvements in a calcination located in the city of Pains-MG, through application of TOC's principles. The operations of the enterprise that limit the production capacity of the system have been identified. Then, strategies to increase this production capacity have been discussed. However, it is up to the company's management to choose the best economical and operational alternative.

**Keywords:** Theory of constraints. Production management. Bottleneck. Calcination.

---

## REFERÊNCIAS

- BALDERSTONE, S. J.; MABIN, V. J. A Review of Goldratt's Theory of Constraints (TOC): lessons from their international literature. *In: ANNUAL CONFERENCE OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY OF NEW ZEALAND*, 33., 1998, Auckland. **Proceedings...** Auckland: ORSNZ, 1998. p. 19-30.
- COGAN, S. Teoria das Restrições versus outros métodos de custeio: uma questão de curto ou de longo prazo. **Revista Universo Contábil**, Blumenau, v. 1, n. 3, p. 8-20, 2005.
- COOK, D. P. Simulation comparison of traditional, JIT, and TOC manufacturing systems in a flow shop with bottlenecks. **Production and Inventory Management Journal**, Chicago, v. 35, n. 1, p. 7-78, 1994.
- CORBETT, T. **Contabilidade de ganhos**. São Paulo: Nobel, 1997.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G.N. **Just in Time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1996.
- COX III, J. F., SPENCER, M. S. **Manual da teoria das restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- GOLDRATT, E. M. **Corrente crítica**. São Paulo: Nobel, 1998.
- GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A meta**. São Paulo: Educator, 1992.
- GRAEML, A. R., PEINADO, J. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.
- GUPTA, M. C.; BOYD, L. H. Theory of constraints: a theory for operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, W. Yorkshire, v. 28, n. 10, p. 991-1012, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informações sobre a Economia Mineral do Estado de Minas Gerais**, 2015. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>. Acesso em: 27 set. 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA (IBS). **Anuário Estatístico da Indústria Siderúrgica Brasileira**. Rio de Janeiro: IBS, 2008.
- J. MENDO CONSULTORIA. **Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral: produto RT**

72: perfil da cal. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia (MME) / Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM / Banco Mundial / Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) 2009. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P46\\_RT72\\_Perfil\\_do\\_Cal.pdf/414a14fd-4574-4b22-bc3b-d07a3955bc69](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P46_RT72_Perfil_do_Cal.pdf/414a14fd-4574-4b22-bc3b-d07a3955bc69). Acesso em: 27 set. 2017.

MABIN, V. J.; BALDERSTONE, S. J. The performance of the theory of constraints methodology. **International Journal of Operations & Production Management**, W. Yorkshire, v. 23, n. 6, p. 568–595, 2008.

MYRELID, A. OLHAGER, J. Applying modern accounting techniques in complex manufacturing. **Industrial Management & Data Systems**, W. Yorkshire, v. 115, n. 3, p. 402-418, 2014.

PADOVEZE, C. L. **Contabilidade gerencial: um enfoque em sistema de informação contábil**. São Paulo: Atlas, 1994.

PELEIAS, I. R. **Controladoria: gestão eficaz utilizando padrões**. São Paulo: Saraiva, 2002.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

SOBREIRO, V. A.; NAGANO, M. S. Proposta de uma heurística construtiva baseada na TOC para definição de mix de produção. **Production**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 468-477, 2013.

## DADOS DOS AUTORES

### Diego Rodrigues Moreira

E-mail: diegomoreirard@hotmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4014662671578397>

Bacharel em Administração (IFMG-Formiga).

### Luiza Bernardes Real

E-mail: luiza.real@ifmg.edu.br

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/0044563053595991>

Mestrado em Engenharia de Produção e graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atualmente é professora no Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG - Campus Formiga.

### Miguel Rivera Peres Júnior

E-mail: miguel.peres@ifmg.edu.br

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/7439979853303781>

Doutor em Administração (UFLA), mestre em Administração (CNEC/FACECA). Atualmente é professor no IFMG - Campus Formiga.

**Nayara Teixeira Santos**

E-mail: [nayara.teixeira@ifmg.edu.br](mailto:nayara.teixeira@ifmg.edu.br)

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/9711435416463491>

Mestre em Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas, pós-graduada em Gerenciamento de Projetos pela Universidade Estácio de Sá. Atualmente é professora dos cursos EAD da Sigma Treinamentos e consultora empresarial atuando nas áreas de reestruturação de processos (BPM).