

Análise do rejeito de sacos de cimento na CSN Cimentos em Volta Redonda/RJ

Reject analysis of Cement bags in the cement CSN

Jimmy Attayde Baker¹

Renan Jacinto Tavares¹

Vinicius Machado Mothé¹

Leonidas Magno de Moraes²

ISSN
1809-9475

Artigo
Original

Original
Paper

Palavra-chave

Rejeitos

Custos

Ferramentas da
qualidade

Resumo

O presente trabalho proporciona o estudo de um problema real na empresa Companhia Siderúrgica Nacional (CSN Cimentos), que opera na cidade de Volta Redonda-RJ, onde existe a necessidade de se reduzir custos com os rejeitos de sacos de cimentos, os quais foram analisados, com o auxílio das ferramentas da qualidade como: Ciclo PDCA, Folha de Verificação, Histograma, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, 5W2H e 5 Porquês. O objetivo deste artigo é analisar o processo passo a passo, para que o grupo compreenda o funcionamento do equipamento e identifique os problemas que ocasionam o alto índice de rejeito de sacos de cimentos. Por consentimento, o grupo observou a necessidade de obter informações por meio de visitas técnicas para acompanhamento do processo de ensacamento de cimento. A partir dessas visitas foi possível obter dados importantes através das ferramentas da qualidade e, a partir das evidências obtidas com as ferramentas da qualidade, o grupo elaborou um plano de ação para que as anomalias encontradas fossem sanadas e o objetivo fosse alcançado, ou seja, a redução do rejeito de sacos de cimento.

Abstract

This paper provides the study of a real problem in the company National Steel Company (CSN Cement) that operates in the city of Volta Redonda - RJ, where there is a need to reduce costs with waste sacks of cement. The refuse bags of cement were analyzed, with the help of quality tools such as PDCA Cycle, Check Sheet, Histogram, Pareto Chart, Cause and Effect Diagram, 5W2H and 5 Whys.

The objective of the study is the step by step process, so that the group understands the operation of the equipment and identify the problem that cause the high reject rate of cement bags. Consent by the group found itself in need to obtain the information through technical visits to monitor the cement bagging process. From the technical inspections was possible to obtain important data through the tools of quality, from the evidence obtained with quality tools, the group developed a plan of action for deficiencies found were remedied and that the goal was reached, ie, a reduction of the waste sacks of cement.

Keywords

Waste

Costs

Quality tools

¹ Graduado em Engenharia de Produção do Centro Universitário de Volta Redonda/UniFOA

² Docente do Centro Universitário de Volta Redonda/UniFOA

1. Introdução

Atualmente, com as constantes mudanças do cenário global, caracterizada pela grande competitividade entre as empresas e suas necessidades em se adaptarem a essa nova tendência de mercado, é fator importante a adequação das empresas a uma manufatura eficaz e sem desperdícios, reduzindo custos e evitando gastos com processos despreparados e pouco robustos. Com isso, as empresas necessitam, cada vez mais, da utilização das ferramentas da qualidade em seus processos, de forma a garantir as exigências do mercado.

A utilização das ferramentas da qualidade como Histograma de Freqüências, Diagrama de Pareto, 5W2H, Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa), Lista de Verificação, 5 Porquês e o PDCA auxiliará o setor de manutenção a rastrear os problemas encontrados na Check Weigher. Devido ao complexo funcionamento e a necessidade de obter um alto rendimento de produção de sacos de cimentos, torna-se indispensável, além do estabelecimento de operação, a manutenção preditiva, preventiva e corretiva. A utilização de técnicas e de ferramentas da qualidade é indispensável para determinar as causas fundamentais das falhas e agir sobre as mesmas para a melhoria do equipamento.

A CSN Cimentos, apesar de ser uma nova unidade, com equipamentos modernos, ainda não conseguiu atingir seus objetivos de produtividade. Essa dificuldade em atingir as metas definidas é, em grande parte, ocasionada pelo grande número de rejeito de sacos, fora da especificação estabelecida (50,150kg).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é identificar os fatores que impedem o setor da *Ensacadeira* número 1 de operar com a eficiência desejada. Uma vez identificados os problemas, planos de ações serão elaborados, tendo interface com diversas áreas da produção e manutenção, aumentando a produção e o desempenho do setor da *Ensacadeira* número 1. Também é foco deste trabalho utilizar as ferramentas da qualidade (PDCA, Folha de Verificação, Histograma, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa Efeito, 5W2H e os 5 Porquês) para alcançar a causa raiz dos problemas e propor mudanças e melhorias para que seja elevada a confiabilidade dos equipamentos. Além disso, serão analisadas as possíveis causas do alto índice de rejeito de sacos de cimentos da CSN Cimentos. Para isso foi necessário estratificar a quantidade de sacos rejeitados no setor da *Ensacadeira* número 1 ilustrado na Figura 1, durante o período de janeiro a dezembro de 2012, utilizando as ferramentas da qualidade para diagnosticar e tratar as anomalias encontradas no processo.

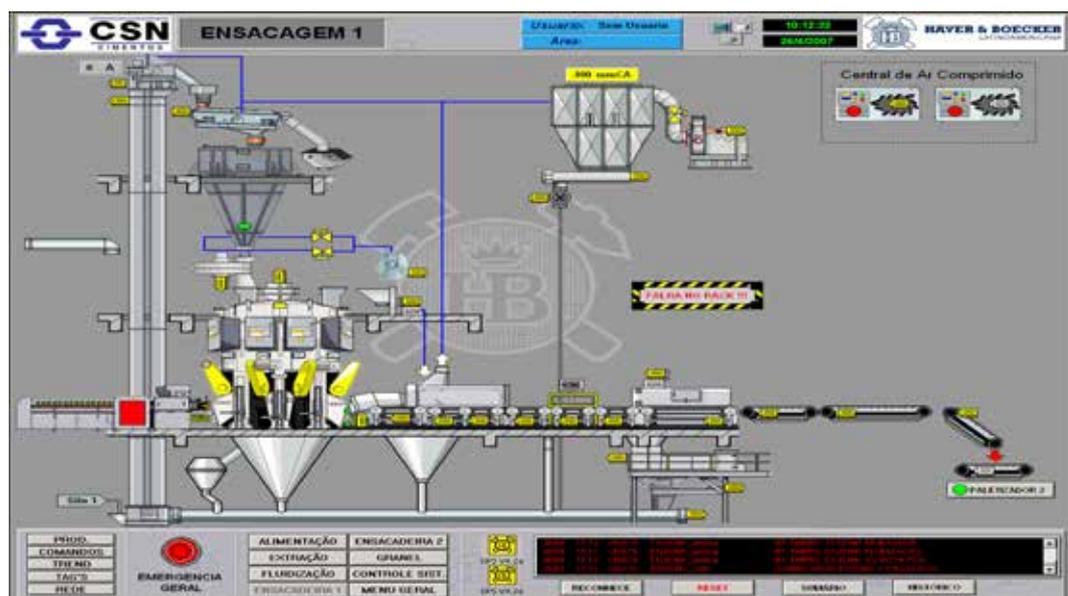


Figura 1 - Estrutura do setor da *Ensacadeira* número 1.

Fonte: CSN Cimentos (2012)

Posteriormente, foi criado um plano de ação para acompanhamento das ações propostas pelo grupo, para a redução de 5% do índice de rejeito de sacos de cimentos.

1.1. Processos de Fabricação do Cimento (CSN Cimentos)

Existem dois tipos de processos: o seco e o úmido. No primeiro, o calcário e argila são britados a seco e o último é uma técnica mais antiga e mais eficaz para obter homogeneização de materiais sólidos, pois forma uma pasta com 35 a 40 % de água. Entretanto, o processo úmido está em desuso, pois requer maior consumo de energia.

O processo seco inicia com a extração de matérias-primas, tais como: argila, calcário, areia, marfa, minério de ferro. Considerado como o principal componente, o calcário pode ser obtido através da exploração de jazidas subterrâneas, pedreiras ou a céu aberto, como normalmente é realizado no Brasil. A extração de pedra pode ser mecânica ou através do uso de explosivos. É necessário que se faça um planejamento para introdução da carga explosiva, para que se possa preservar o ambiente após o arranque das rochas. A armazenagem de grande quantidade desse tipo de material deve ser feita cuidadosamente, a fim de se evitar perda do produto e manter a qualidade do mesmo.

Após a fase de extração, o material está em forma de blocos, com dimensões que podem ir até cerca de um metro cúbico (1m^3), sendo necessário reduzir seu tamanho a uma granulometria adequada para que o material se enquadre ao processo posterior de fabricação. Portanto, a próxima etapa é a britagem, que é um processo onde o calcário é reduzido a dimensões adequadas ao processamento industrial. Nesse processo também é eliminado grande parte das impurezas presentes na matéria-prima. Geralmente é usado um britador de martelos, que tem o objetivo de reduzir, de $0,5\text{ m}^3$ para menos de 90 mm a matéria extraída da pedreira. O material britado é armazenado em silos verticais ou armazéns horizontais. Essa armazenagem pode ser feita por camadas intercaladas de calcário e a argila (pré-homogeneização).

Em seguida, o composto de calcário (aproximadamente 90%) e outras matérias-primas (10%) são dosados, conforme parâmetros de qualidade pré- estabelecidos, para ser triturado no moinho de cru. Essa operação é controlada através de computadores de processo. No moinho de cru acontece o processamento da composição química e da moagem, de modo a reduzir o tamanho das partículas a

$0,050\text{mm}$ em média, adequando-a a cozedura. Nessa moagem são normalmente utilizados moinhos tubulares, de duas câmaras, com corpos moentes (bolas metálicas de diversos diâmetros), ou moinhos verticais de mós.

O resultado dessa operação é chamado de “cru”, ou seja, uma mistura fina moída resultante da combinação das matérias-primas adicionadas. Simultaneamente a moagem ocorre um processo de adição de outros materiais como areia cinza de pirite e bauxita, de forma a obter as quantidades pretendidas dos compostos que constituem o “cru”. A mistura crua produzida, devidamente dosada e com a finura adequada, deve ter a sua homogeneidade assegurada para permitir uma perfeita combinação dos elementos formadores do clínquer. A dosagem é realizada em silos verticais de grande porte através de processos pneumáticos e por gravidade. Dos silos de homogeneização, a farinha é introduzida no forno, passando antes pela fase de pré-aquecimento. Nessa etapa, os pré-aquecedores (ou pré-calcinadores) aproveitam o calor dos gases provenientes do forno e promovem o aquecimento inicial do material.

Em seguida, inicia-se o processo de cozedura. Atualmente, existem vários tipos de fornos com dimensões que variam com a tecnologia de cada fabricante. No forno rotativo, constituído por cilindros de aço (revestidos por tijolos refratários, que confere proteção ao tubo e reduz as perdas térmicas) com comprimento que varia entre 50m a 150m , velocidade de rotação entre 1,5 e 2,5 rotações por minuto e diâmetro de 6m , a mistura passa pelo processo de clinquerização (1450°C), resultando no clínquer, produto com aspecto de bolotas escuras. Um resfriador promove a redução da temperatura a 80°C , aproximadamente. A clinquerização é o resultado das reações químicas que se desenvolvem durante o processo, produzindo o clínquer.

Na moagem do clínquer é comum o uso de moinhos verticais ou tubulares, com uma, duas ou três câmaras, funcionando em circuito aberto ou circuito fechado. Quando em circuito fechado, utilizam-se “separadores” para rejeitar as partículas mais grossas, que retornam ao circuito de moagem. Posteriormente, esse material é armazenado em silos para adição de outros materiais, como: gesso, escória de alto forno, pozolana e o próprio calcário.

O cimento como conhecemos, atualmente, é produzido através da última moagem, que será armazenado via transporte mecânico e/ou pneumaticamente para os silos ou armazéns horizontais de cimento. Após os ensaios de qualidade aprovados, conforme as normas e especificações em vigor, o produto é enviado para expedição.

Existem duas formas principais de remessa de cimento: a granel ou em sacos de 50 Kg. O cimento expedido na forma de granel é transferido diretamente do silo para caminhões-cisterna ou para cisternas, para trans-

porte ferroviário ou por navios de transporte de cimento.

O ensacamento é feito, geralmente, por máquinas especiais, que automaticamente enchem os sacos e os liberam, assim que atingirem o peso especificado. A ensacadeira rotativa é uma máquina giratória para enchimento de sacos, valvulados para materiais em pó e microgranulados de fácil escoamento para enchimento e pesagem simultânea de 50 kg. Sua capacidade nominal do equipamento ensacadeira rotativa número 1 é de 3.600 sacos por hora, como evidenciado na Figura 2.

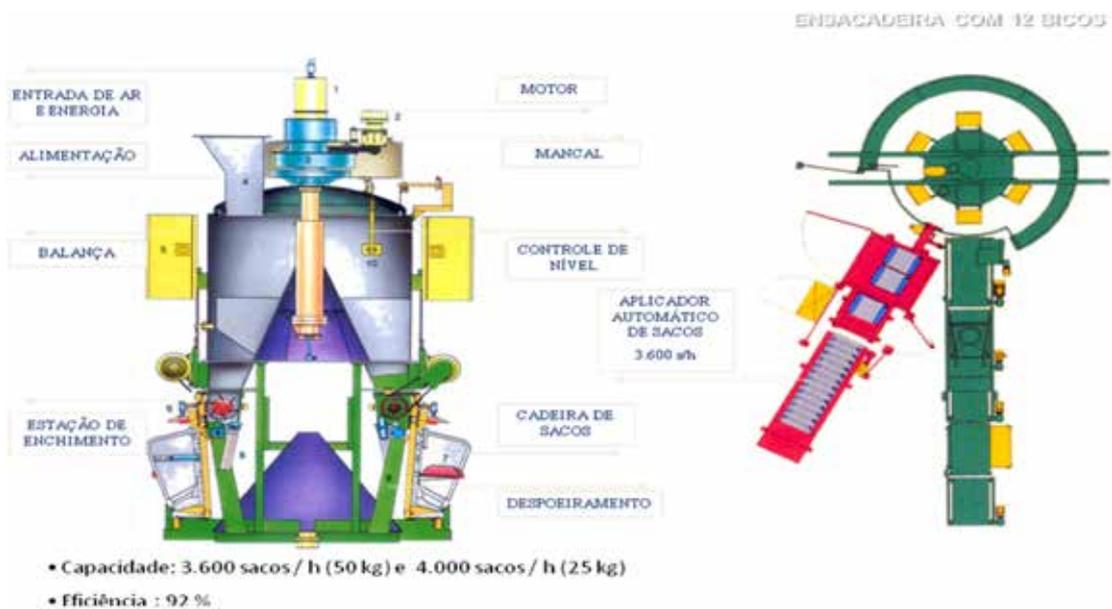


Figura 2 - Ensacadeira de 12 bicos.

Fonte: CSN Cimentos (2012)

O processo começa com o abastecimento de sacos vazios no equipamento denominado *magazine*. O saco é expelido por um aplicador de sacos e inserido nos bicos da ensacadeira rotativa. Após o encaixe no bico, o cimento é injetado para dentro do saco, com fluxo controlado em grosso e fino. As turbinas levam, aproximadamente, 10 segundos para abastecer 12 sacos simultaneamente. Durante o abastecimento também ocorre a pesagem simultânea do processo de enchimento, que assegura uma alta capacidade de produção para cada estação de enchimento.

Após o enchimento, o saco é deslocado pela sela e o processo é continuado por um transportador com correias que leva até a

check weigher (balança). A balança é calibrada para o limite inferior de 49,5Kg e superior de 50,5Kg. Os sacos que são retirados do processo pelo alçapão, em seguida, são cortados por uma serra e expelido para fora do sistema e o cimento retorna para a Ensacadeira Rotativa para ser ensacado novamente.

Os sacos dentro dos padrões prosseguem por correias transportadoras até serem paletizados e armazenados no galpão de expedição de cimento. A Figura 3 evidencia o Layout em 3D da planta CSN Cimentos, onde podemos ver todos os setores responsáveis pela produção e armazenagem da matéria-prima e produto acabado do cimento.

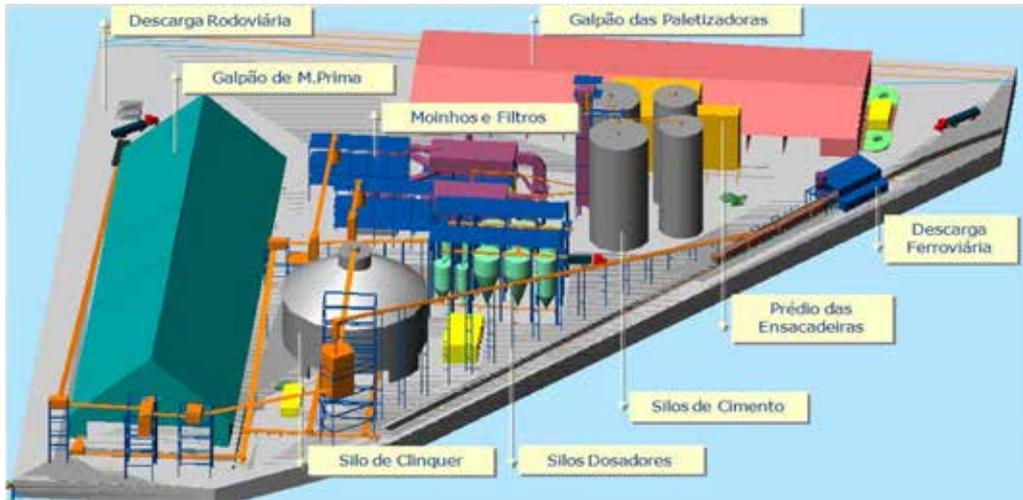


Figura 3 - Layout 3D da planta da CSN Cimentos.

Fonte: CSN Cimentos (2012)

A Figura 4 ilustra o fluxo do processo de cimento, onde podemos observar cada setor responsável dentro do processo fabricação do cimento.

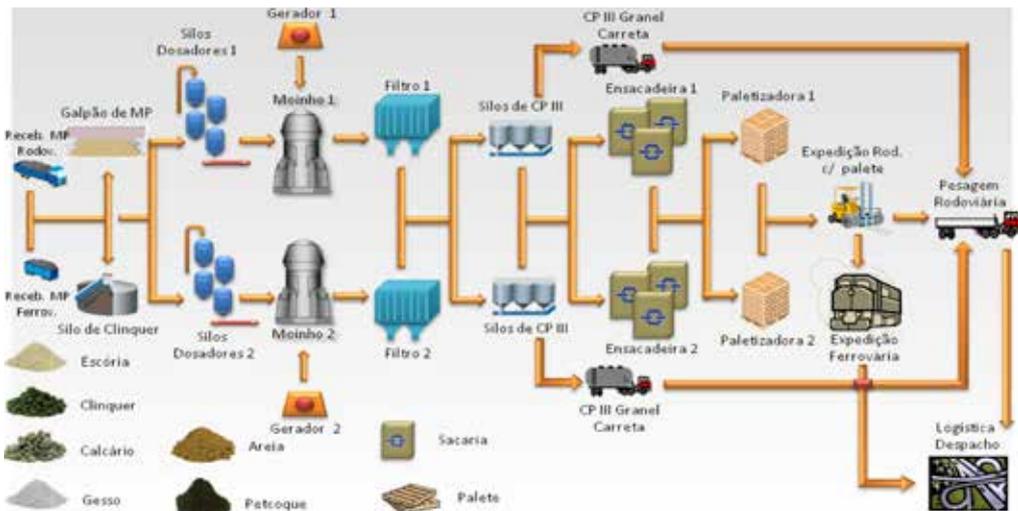


Figura 4 - Fluxo de processo: Processo de fabricação de cimento.

Fontes: CSN Cimentos (2012)

2. O problema

O problema a ser analisado é o alto índice de sacos rejeitados pela *Check Weigher* “balança”. A CSN Cimentos possui uma meta de 0,002% de rejeito de sacos de cimento. Hoje a linha de produção trabalha com o índice de rejeito de sacos de cimento de aproximadamente de 0,0038%. O problema se inicia quando o saco de cimento passa pela balança e o valor do peso indicado está fora do limite inferior ou

superior estabelecido pela produção (49,650kg a 50,650kg). Quando isso ocorre, automaticamente o saco de cimento é rejeitado por um alçapão localizado após a balança. Antes do saco de cimento ser rejeitado, a balança envia informações instantâneas para os bicos da ensacadeira rotativa, para que seja corrigida a quantidade de cimento injetado dentro no saco posterior. A Figura 5 mostra a balança de pesagem de sacos de cimento.



Figura 5. Balança de pesagem dos sacos de cimento
Fonte: CSN Cimentos (2012).

3. Estudo de caso

3.1. A Origem da CSN Cimentos

A CSN entrou no mercado de cimento impulsionado pela sinergia entre essa nova atividade e seus negócios já existentes. Dentro da Usina Presidente Vargas, em Volta Redonda (RJ), instalou-se uma nova unidade de negócios: a CSN Cimentos, que produz cimento do tipo CP-III, desde 2009, adequado para fundações e edificações em regiões litorâneas. Na composição desse cimento, que segue as normas brasileiras, a CSN utiliza 70% da escória que é produzida pelos altos-fornos da própria usina, em Volta Redonda.

Ainda adquirido de fornecedores externos, o clínquer utilizado na fabricação do cimento passará a ser produzido pela própria CSN nos próximos anos, com a conclusão das obras da fábrica em Arcos (MG), onde a CSN

possui ainda uma mina de calcário. Com ganhos de escala e logística, a nova fábrica utiliza a mais moderna tecnologia na produção de cimento instalada no país. Capazes de controlar a qualidade do produto em tempo real e operar com reduzido consumo de energia, os novos moinhos capacitam a companhia a produzir cimento de alta qualidade, baixo custo de produção e responsabilidade ambiental.

Assim, a CSN lançou no mercado o cimento CSN. O Cimento com a qualidade da CSN, resistente, durável, econômico e fácil de trabalhar, é indicado para todos os tipos de construções. A localização geográfica da fábrica, próxima a grandes centros de consumo, facilita o recebimento de matéria-prima e escoamento de sua produção. A CSN Cimentos possui um sistema de moagem de grande produtividade, alta tecnologia e baixo consumo energético. Sua capacidade de produção de cimento é de 2 milhões e 300 mil toneladas ao ano, sendo 20% em cimento a granel e 80% em cimento ensacado.

3.2. Aplicação das Ferramentas

Os dados referentes à produção de cimento durante o período de janeiro a dezembro de 2012 e a porcentagem do índice de rejeito diário durante o período foram fornecidos pela CSN. Esses dados foram convertidos em gráficos, representando a produção, o percentual e o índice de rejeito de sacos de cimentos, conforme evidenciado nas Figuras 6 a 7.

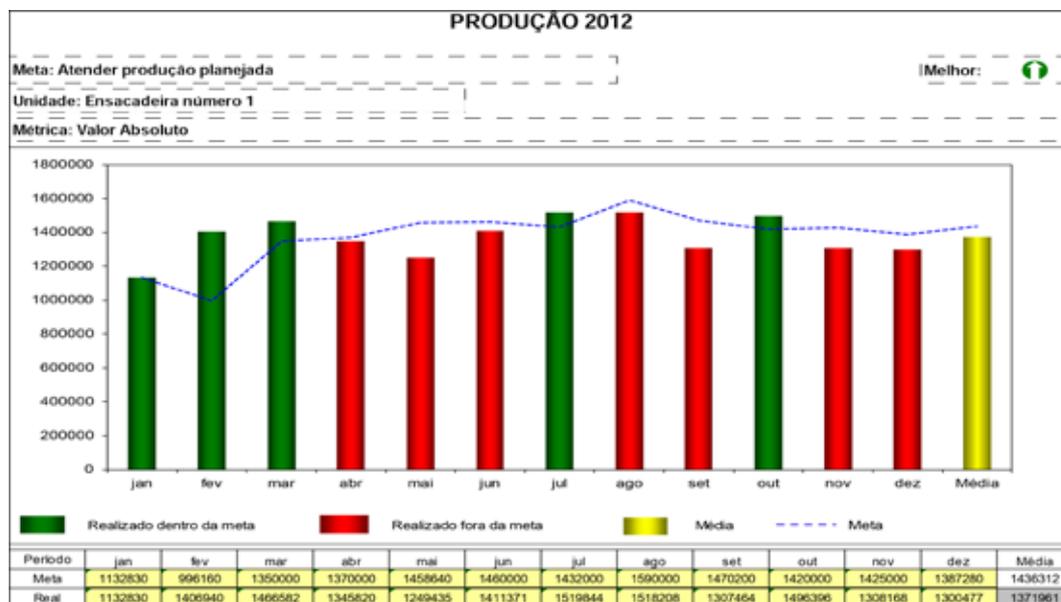


Figura 6. Produção de sacos de cimento por unidade.

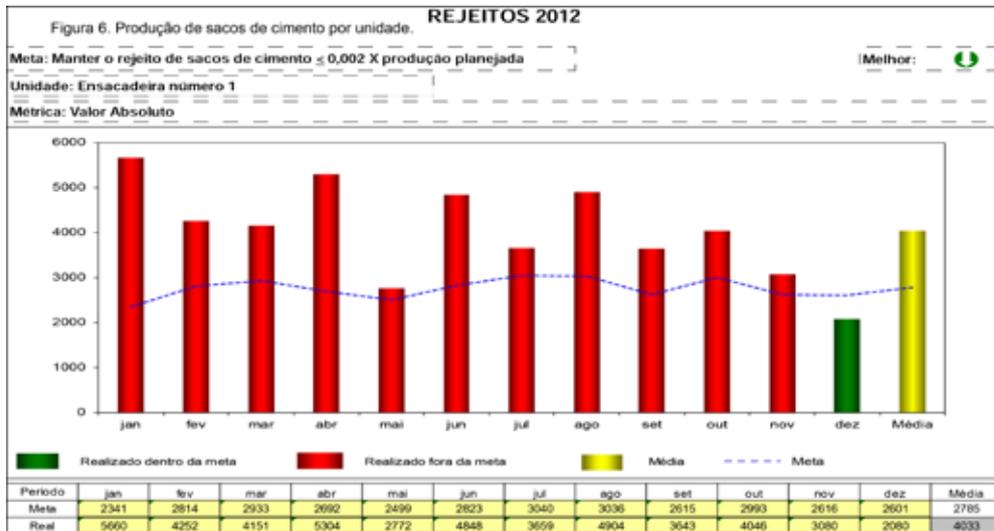


Figura 7. Índice de rejeito de sacos de cimento por unidade

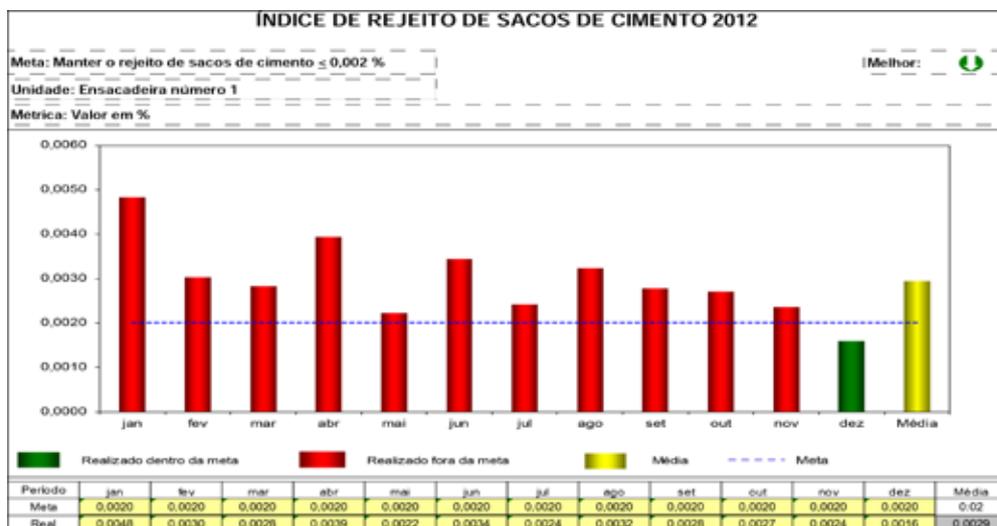


Figura 8. Índice de rejeito de sacos de cimento.

A empresa CSN Cimentos julga confidencial a informação referente ao percentual de rejeição de sacos de cimento por anomalia, disponibilizando somente uma lista com os principais problemas, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Dados fornecidos pela CSN Cimentos.

Possíveis causas de rejeito de sacos de cimentos	
1	Entupimento dos bicos da Ensacadeira Rotativa
2	Granulometria do cimento acima ou abaixo da especificação
3	Sacaria com dimensões fora da especificação
4	Saco rasgado
5	Acumulo de pó de cimento na <i>Check Weigher</i>
6	Acumulo de pó de cimento na Ensacadeira Rotativa
7	Falha na correção de peso

Fonte: CSN Cimentos (2013)

A partir dos problemas listados no quadro 1, foi elaborada uma folha de verificação para posterior tomada de decisão. Contudo, foi realizada uma visita técnica para o acompanhamento do processo de ensacamento de cimento no setor da *Ensacadeira 1*. Com o auxílio da folha de verificação foi possível obter a incidência de rejeito por item durante 6h de produção.

Para a construção da lista de verificação, alguns critérios foram utilizados:

- Quantidade de paradas da linha para limpeza dos bicos da Ensacadeira Rotativa;
- Sacos rejeitados em sequência;
- Parada de produção para calibração da *Check Weigher*;
- Quantidade de paradas da linha para limpeza da correia transportadora da *Check Weigher*;

- Quantidade de sacos rejeitados por estar rasgado durante o processo.

Foi inserida, na folha de verificação, a quantidade de sacos rejeitados por anomalia. Pode-se observar na Tabela 2 que as maiores incidências de rejeito de sacos de cimento foram o acúmulo de pó de cimento na balança e o entupimento dos bicos da ensacadeira rotativa, representando 79% dos rejeitos de sacos de cimento.

Tabela 2: Folha de verificação

Empresa: CSN Cimentos		Seção: Ensacadeira 01		Data: 6/2/2013	
Componente: Conjunto ABC		Período de acompanhamento: 09h00min as 15h00min			
Processo de trabalho: Produção		Quantidade produzida: 18750 Sacos			
Tipo de Rejeitos	Tabulação	Quantidade de sacos rejeitados	Classificação	% individual	% acumulada
Acúmulo de pó de cimento na <i>Check Weigher</i>	////////////////////	23	1°	60,53%	60,53%
Entupimento dos bicos da Ensacadeira Rotativa	////	7	2°	18,42%	78,95%
Saco rasgado	///	4	3°	10,53%	89,47%
Acúmulo de pó de cimento na Ensacadeira Rotativa	///	3	4°	7,89%	97,37%
Falha na correção de peso	/	1	5°	2,63%	100,00%
Alteração na granulometria do cimento		0	6°	0,00%	100,00%
Saco com dimensões fora da especificação		0	7°	0,00%	100,00%
Total		38		100,00%	

Fonte: Cassão 2009, adaptado pelos autores

Calcula-se que foi produzido aproximadamente um total de 18.750 sacos de cimento e que houve um total de 38 sacos rejeitados. Também é possível verificar que 23 rejeitos foram por acúmulo de pó de cimento na *Check Weigher*, totalizando 61% dos problemas.

Com os dados obtidos *in loco*, através da lista de verificação, foi possível montar o gráfico de Pareto para evidenciar as anomalias, durante o período de acompanhamento da produção de cimento ensacado (Figura 9).

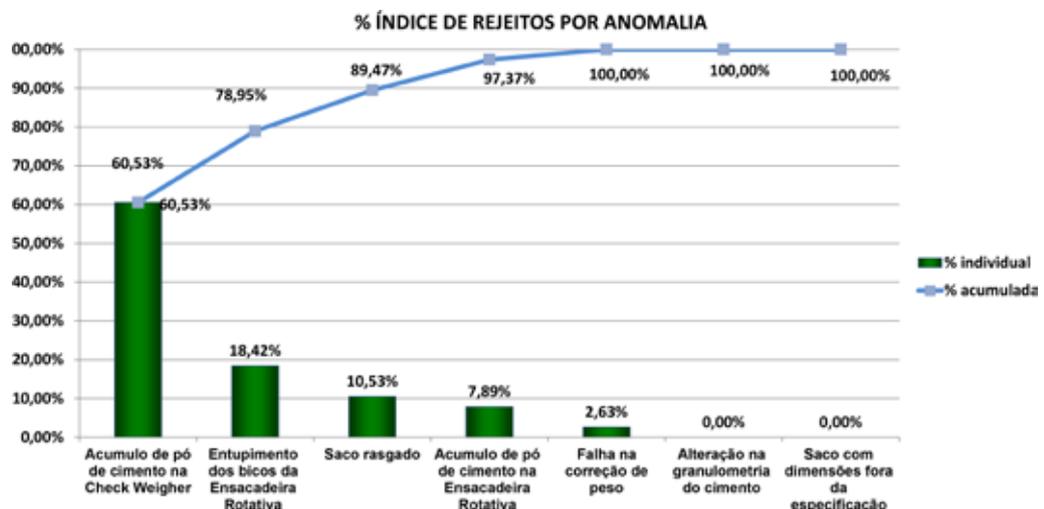


Figura 9. Porcentagem do índice de rejeitos por anomalia.

Portanto, através da análise do gráfico de Pareto, partiu-se do pressuposto de que os principais problemas de rejeito de sacos de cimento são o acúmulo de pó de cimento na *Check Weigher*, com 61% das ocorrências. Dando seguimento no estudo realizado, foram levantados os possíveis motivos que estariam

ocasionando o acúmulo de pó de cimento na *Check Weigher*, com o intuito de, posteriormente, elaborar o Diagrama Ishikawa, onde será efetuada uma simulação com os componentes do grupo para construção do Diagrama Ishikawa, conforme evidenciado na Figura 10.



Figura 10. Diagrama de Ishikawa
 Fonte: Campos 1992, adaptado pelos autores.

Após a simulação do diagrama de Ishikawa, conclui-se que os quatro possíveis fatores que ocasionam o acúmulo de pó de cimento na *Check Weigher* são:

- a. Exaustão do processo ineficiente;
- b. Falta de pressão do ar comprimido;
- c. Compressor muito longe da ensacadeira;
- d. Acúmulo de água na linha de ar comprimido.

Feita a análise do Diagrama de Ishikawa foi dado seguimento no desenvolvimento do trabalho, utilizando-se a ferramenta 5 Porquês para se obter a causa raiz do problema, conforme evidenciado na Tabela 3. Dessa forma, partiu-se dos quatro problemas que foram tomados como os principais motivos do alto índice de rejeito de sacos, obtidos na folha de verificação.

Tabela 3: 5 Porquês.

SINTOMA	PORQUÊ 1	PORQUÊ 2	PORQUÊ 3	PORQUÊ 4	PORQUÊ 5
Exaustão ineficiente	Falta de pressão do ar comprimido	Compressor trabalha sobrecarregado	Existe atualmente somente um compressor para atender toda a planta	Durante construção da planta da fábrica não foi previsto um segundo compressor	Projeto mal elaborado
Falta de pressão do ar comprimido	Compressor trabalha sobrecarregado	Existe atualmente somente um compressor para atender toda a planta da fábrica	Durante construção da planta da fábrica não foi previsto um segundo compressor	Projeto mal elaborado	
Compressor longe do setor da Ensacadeira 1	Para atender outros setores da planta da fábrica de cimentos	Existe atualmente somente um compressor para atender toda a planta da fábrica	Durante construção da planta da fábrica não foi previsto um segundo compressor	Projeto mal elaborado	
Acúmulo de água na linha de ar comprimido	Excesso de curvas dentro da planta de tubulação de ar comprimido	Existe atualmente somente um compressor para atender toda a planta da fábrica	Durante construção da planta da fábrica não foi previsto um segundo compressor	Projeto mal elaborado	

Portanto, pode-se perceber, através da ferramenta 5 Porquês, que todos os sintomas possuem a mesma causa raiz. Então, espera-se que com a aplicação da melhoria todos os sintomas sejam solucionados.

3.3. Plano de Ação

Este trabalho tem como meta a redução de 5% na quantidade de sacos rejeitados na Check Weigher, diminuindo o índice atual de 0,0039% para 0,0037% de rejeitos, ainda bem longe do aceitável pela CSN Cimentos, que é de 0,002%. Para solucionar os problemas no

sistema de exaustão e fornecimento de ar comprimido para sopro do saco na correia transportadora da *Ensacadeira número 1* da CSN Cimentos, foi utilizada a ferramenta 5W2H, que mostra as ações a serem tomadas para minimizar o alto índice de rejeito de sacos de cimento, conforme evidenciado na Tabela 4.

Tabela 4: 5W2H

5W2H						
OBJETIVO	DEFINA METAS, PROBLEMA O PROJETO DE MELHORIA					
O QUE (WHAT)	POR QUÊ (WHY)	ONDE (WHERE)	QUEM (WHO)	QUANDO (WHEN)	COMO (HEW)	QUANTO (HOW MUCH)
Exaustão ineficiente	sopro do ar comprimido nos sacos sem pressão	Transporte correia T1C04	Departamento de engenharia	2/4/2013	Aumentando a pressão de ar comprimido	Confidencial
Falta de pressão do ar comprimido	compressor não atende a demanda	utilidades	Departamento de engenharia	2/4/2013	Aumentando a pressão de ar comprimido	Confidencial
Compressor longe do setor da Ensacadeira 1	Projeto mau elaborado	Na disposição dos equipamentos	Departamento de engenharia	2/4/2013	Aumentando a pressão de ar comprimido	Confidencial
Acúmulo de água na linha de ar comprimido	Compressor longe do setor da Ensacadeira 1	Setor da Ensacadeira 1	Departamento de engenharia	2/4/2013	Diminuir a distância do compressor	Confidencial

Fonte: Campos 1992, Adaptado pelos autores.

Para um melhor aproveitamento do sistema de exaustão, o grupo propôs a aquisição de um novo compressor a ser instalado no setor da *Ensacadeira número 1*, em função do compressor atual fornecer ar comprimido para toda fábrica da CSN Cimentos. Com isso temos acúmulo de água na linha de ar comprimido em função do sistema de tubulação ser afastado havendo muitas curvas e, por atender toda fábrica, o ar comprimido chega sem pressão no setor da *Ensacadeira número 1*.

Por isso o sistema de exaustão não é eficiente, pois o ar comprimido não tem pressão suficiente para levantar as partículas de cimento para serem puxadas pelo sistema de exaustão, o que gera um acúmulo de cimento na correia transportadora e, conseqüentemente, o rejeito do saco na *Check Weigher*, em função de acusar um peso maior que o especificado que é de 50.150 kg. O acúmulo de pó de cimento na correia transportadora, gera uma pesagem superior ao limite de 50.650 kg.

3.4. Consolidação das Informações

Compressão do ar ambiente é denominada compressor de ar, que transforma um tipo de energia (normalmente elétrica) em energia pneumática. O grupo analisou dois tipos básicos de compressores: alternativos (de pistão) e rotativos (de parafuso e centrífugo). Em termos conceituais, os compressores de pistão e de parafuso são denominados de deslocamento positivo, pois a compressão do ar é obtida pela redução de seu volume, de forma alternada (pistão) ou contínua (parafuso). O compressor centrífugo é do tipo dinâmico, pois a compressão ocorre pela transformação da energia cinética (velocidade) do ar em energia potencial (pressão).

Compressor de pistão: é um compressor de deslocamento oscilante. Compressores de pistão levam o ar através do movimento do pistão (para cima e para baixo) – comprime e descarrega. Esses processos são contro-

lados por válvulas de entrada e de descarga. Diferentes pressões são geradas por vários estágios de compressão em série e pelo uso de vários cilindros, e assim podem produzir diferentes volumes de ar. As características desse tipo de compressor são: alta eficiência, alta pressão. Os compressores de pistão podem ser construídos em vários modelos e com diferente posicionamento do cilindro: vertical, horizontal, em V, em W ou horizontalmente oposto. Os compressores de pistão são comumente aplicados para pequenas vazões (até 100 m³/h). A Figura 11 ilustra o pistão interno no compressor de pistão (BOSCH, 2008).



Figura 11. Pistão do compressor de pistão
Fonte: Bosch, 2008.

Compressores parafuso: esse tipo de compressor possui dois rotores em forma de parafusos que giram em sentido contrário, mantendo entre si uma condição de engrenamento. A conexão do compressor com o sistema se faz através das aberturas de sucção e descarga, diametralmente opostas. O ar penetra pela abertura de sucção e ocupa os intervalos entre os filetes dos rotores. A partir do momento em que há o engrenamento de um determinado filete, o ar nele contido fica fechado entre o rotor e as paredes da carcaça. A rotação faz então com que o ponto de engrenamento vá se deslocando para a frente, reduzindo o espaço disponível para o ar e provocando a sua compressão. Finalmente, é alcançada a abertura de descarga e o ar é liberado. A relação de compressão interna do compressor de parafuso depende da geometria da máquina e da natureza do ar, podendo ser diferente da relação entre as pressões do sistema. (BOSCH, 2008).

A Figura 12 ilustra os eixos helicoidais interno no compressor parafuso.



Figura 12. Eixos do compressor parafuso
Fonte: Bosch, 2008.

Compressores centrífugos: são máquinas dinâmicas onde o ar é dirigido para o centro de uma roda de lâmina giratória (turbina). Por causa da força centrífuga, o ar é impelido para a periferia. A pressão é aumentada conduzindo o ar através de um difusor antes de alcançar a próxima lâmina. Assim, a energia cinética (energia de velocidade) é convertida em pressão estática. As características básicas dos compressores de fluxo radial são as mesmas do compressor de fluxo axial. Os compressores centrífugos são mais indicados para vazões grandes e muito grandes (> 1500 m³/h). Os compressores centrífugos têm potências entre 1,1 kW e 75 kW (1,5 cv a 100 cv), produzindo pressões operacionais entre 7 a 8 e 10 bars (101 a 145 psi).

A Figura 13 ilustra a roda de lâmina giratória interna no compressor centrífugo.



Figura 13. Roda de lâmina giratória do compressor centrífugo.
Fonte: Bosch, 2008.

Um eficiente sistema de ar comprimido começa pela escolha do compressor mais adequado para cada atividade. A seleção do compressor mais adequado para uma determinada aplicação é função da vazão, pressão e nível de pureza exigido por tal aplicação (BOSCH, 2008). O cimento, feito para reagir com a água, é extremamente difícil de trabalhar devido a sua textura em pó, que absorve a menor umidade presente no ar. Além da umidade, outra grande preocupação no ambiente industrial crítico e hostil de produção do cimento é garantir que não haja a contaminação por óleo. Mesmo em quantidades mínimas, concentrações em partes por milhão ou bilhão podem resultar em altos custos de produção, devido aos períodos de parada e perda da qualidade dos produtos finais.

Esse é um dos motivos pelos quais se utiliza o ar comprimido de alta qualidade, assim como em outros processos essenciais. Com a escolha do equipamento certo para gerá-lo, é possível garantir um meio de transporte muito eficiente do ponto de vista energético e confiavelmente isento de contaminações. A tecnologia empregada em duas grandes indústrias de cimento, *Ciments Calcia* (França) e *Holcim* (Suíça), é o sistema de ar comprimido de baixa pressão gerado por compressores de parafuso isentos de óleo do tipo VSD (*Variable Speed Drive*), certificados Classe Zero, ou seja, que garante um ar 100% isento de óleo.

Um compressor de parafuso possui eficiência energética muito superior a um de pistão. Compressores de parafuso de velocidade variável (*Variable Speed Drive - VSD*) podem ser 35% ainda mais eficientes em relação aos de tecnologia convencional do tipo velocidade fixa, que mantém o fluxo de ar constante e, mesmo quando a demanda cai, o motor elétrico está consumindo a mesma energia elétrica (cerca de 40% da potência nominal). Ou seja, deixam de economizar energia quando podem. Levando-se em conta também que a *CSN Cimentos* já utiliza um compressor do tipo parafuso. Portanto, esse é o compressor ideal para atender o setor da *Ensacadeira número 1*, abastecendo o sistema com uma pressão que varia entre 5 e 13 bar.

Além das justificativas citadas acima, o compressor parafuso apresenta baixo custo de manutenção e respeita os princípios de

sustentabilidade, o que também são pontos muito importantes. Outros fatores importantes na aquisição de um novo compressor são os equipamentos que acompanham os compressores auxiliando o funcionamento adequado do equipamento, tais como: pré-filtro, secador, pós-filtro e reservatório, purgadores.

Pré-filtro: instalado antes do secador por refrigeração (pré-filtro), separa o restante da contaminação sólida e líquida (~30%), protegendo os trocadores de calor do secador contra o excesso de óleo oriundo do compressor de ar, o que poderia impregná-los, prejudicando sua eficiência. O excesso de condensado no secador também reduz sua capacidade de resfriamento do ar comprimido, pois se consome energia para resfriar um condensado que já poderia ter sido eliminado do sistema. No caso de sistemas dotados de secadores por adsorção, o pré-filtro deve garantir que nenhuma quantidade de contaminação líquida, inclusive os aerossóis de água e óleo, atinja o material absorvedor, obstruindo seus poros e impedindo a sua reativação. A Figura 14 ilustra o pré-filtro (BOSCH, 2008).



Figura 23: Filtro anterior ao secador
 Fonte: Bosch, 2008.

Secador: Sua função é eliminar a umidade (líquido e vapor) do fluxo de ar. Um secador deve estar apto a fornecer o ar comprimido com o Ponto de Orvalho especificado pelo usuário. Ponto de Orvalho é a temperatura na qual o vapor começa a condensar. Há dois conceitos principais de secadores de ar comprimido: por refrigeração e por absorção.

Filtro pós-secador: (pós-filtro) deve ser responsável pela eliminação da umidade re-

sidual (~30%) não removida pelo separador mecânico de condensados do secador por refrigeração, além da contenção dos sólidos não retidos no pré-filtro. A capacidade do pós-filtro efetuar a eliminação de qualquer umidade residual é seriamente afetada pela temperatura do ar comprimido na saída do secador. Na verdade, em qualquer secador por refrigeração, o ar comprimido sofre um reaquecimento antes de voltar à tubulação. Esse reaquecimento é intencional (economiza energia e evita que a tubulação fique gelada), mas provoca a completa reevaporação da umidade residual não removida pelo separador de condensados. No estado gasoso, essa umidade não pode ser eliminada pelo pós-filtro.

Reservatório ou pulmão de ar: armazena o ar comprimido para consumo, equaliza as pressões das linhas de consumo e elimina umidade do ar. Todo reservatório deve possuir válvulas de segurança, manômetro e termômetro. O reservatório, onde a velocidade é consideravelmente reduzida, faz com que a maior parte dos resíduos sejam depositados sobre as paredes e escorra para o fundo. Assim é muito importante a existência de uma tubulação de dreno na parte mais baixa do reservatório, a fim de permitir a retirada dessa água. A Figura 15 mostra um pulmão de ar comprimido (BOSCH, 2008).



Figura 15. Pulmão de ar comprimido.
Fonte: Bosch, 2008.

Purgadores: Eliminador automático da água que se acumula nas diferentes partes da instalação de ar comprimido.

Outro ponto importante é a tubulação a ser utilizada nas instalações dos compressores. É necessário utilizar tubulações adequadas para o sistema, como as resistentes à oxidação, como aço galvanizado, aço inoxidável, alumínio, cobre e plástico de engenharia. A tubulação indicada pelo grupo é a tubulação de aço galvanizado devido à aplicação e ao custo. Após a aquisição dos equipamentos e antes de sua montagem e funcionamento, foi necessário dimensionar os equipamentos, de forma que houvesse o mínimo de perda possível de carga. Uma rede de ar comprimido corretamente dimensionada garante uma baixa perda de carga (queda de pressão) entre a geração e o consumo, resultando num suprimento de ar adequado aos usuários, além de uma significativa economia de energia. Sempre que possível, é necessário interligar as extremidades da rede de ar, a fim de facilitar a equalização das pressões. O circuito em anel fechado é um layout de rede correto e bastante comum, demonstrado na Figura 16 (BOSCH, 2008).

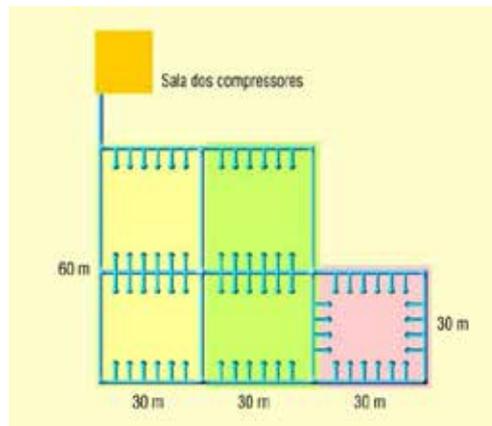


Figura 16. Distribuição de ar comprimido.
Fonte: Bosch, 2008.

Mesmo que o ar comprimido seja tratado, convém construir a rede com uma pequena inclinação no sentido do fluxo de ar e instalar algumas válvulas nos pontos inferiores da mesma, visando captar o condensado formado durante eventuais paradas dos equipamentos de tratamento. Com relação aos materiais da tubulação, convém dar preferência aos resistentes à oxidação, como aço galvanizado, aço inoxidável, alumínio, cobre e plásticos de engenharia. É necessário, também, utilizar conexões de raio longo para minimizar a perda de carga. É importante dimensionar corretamente a rede de distribuição de ar para se evitar a

redução da pressão do ar comprimido provocada por uma rede de distribuição inadequada (diâmetro da tubulação inferior ao necessário, *layout* incorreto da tubulação, curvas e conexões em excesso, etc), pois um sistema de ar comprimido também pode estar operando numa pressão muito superior à exigida pela aplicação. Conforme a Figura 17, a tubulação ideal para a instalação do sistema de ar comprimido é a tubulação de duas polegadas (BOSCH, 2008).

Perda de carga na tubulação										
m / ft	Perda de carga (psi) por 10 metros de comprimento de um tubo com diâmetro:									
	1/2"	3/4"	1"	1.1/2"	2"	2.1/2"	3"	4"	5"	6"
80	2,73	0,64	0,18							
170		2,51	0,70	0,08						
350			2,68	0,31	0,09					
500				0,68	0,19	0,08				
850				1,86	0,50	0,21				
1200					1,00	0,41	0,13			
1700					1,97	0,81	0,25			
2100						1,28	0,41	0,10		
2500						1,79	0,56	0,14		
3400							1,00	0,25	0,08	
4200							1,56	0,39	0,12	
5100							2,24	0,55	0,17	0,07
6800								0,97	0,30	0,12
10200								2,15	0,67	0,26
13600									1,18	0,46
17000									1,82	0,71

Comprimento equivalente de tubulação (m)										
	1/2"	3/4"	1"	1.1/2"	2"	2.1/2"	3"	4"	5"	6"
Curvulo 90°	1,10	1,34	1,58	2,25	2,60	2,80	3,40	4,00	2,20	2,70
Curva 90°	0,67	0,70	0,83	1,00	1,10	1,10	1,20	1,40	1,50	1,70
Té (não desold)	0,80	1,20	1,50	2,40	3,00	3,90	4,80	6,00	8,00	8,20
Válv. gaveta	0,17	0,20	0,25	0,37	0,46	0,52	0,58	0,76	0,95	0,98

Figura 17. Relação de tubulação ideal para o sistema de ar comprimido.

Fonte: Bosch, 2008.

4. Conclusões

Com este trabalho foi possível observar que existem soluções para problemas em empresas do ramo de fabricação de cimento que lidam com a anomalia do alto índice de rejeito de sacos de cimento. Estudar o caso, ler sobre o assunto, buscar soluções e orientações foram fatores que colaboraram para realização deste estudo. Poder aplicar os conhecimentos adquiridos durante a graduação foi de grande importância para se aprender na prática a utilização do conhecimento. Aprendeu-se que existem diversas ferramentas aplicáveis para cada tipo de situação existente e que elas podem auxiliar fortemente na busca para a solução dos problemas. O primeiro passo foi compreender qual era o real problema com o qual iríamos trabalhar e desenvolver o estudo, pois era necessário ter um direcionamento para o andamento do trabalho.

Foi de grande importância a autorização da CSN CIMENTOS para o estudo e a

liberação de informações para realizar o gerenciamento das informações de forma adequada, confiável e também atingir a hipótese proposta pelo grupo, entendendo como essa etapa afeta os resultados. Com o auxílio da *Folha de Verificação* o grupo estratificou uma das principais anomalias que, supostamente, ocasionou o alto índice de rejeitos de sacos de cimento, no ano de 2012. Essa anomalia se evidenciou através do Gráfico de Pareto, indicando que o acúmulo de pó de cimento na *Check Weigher* totalizou 61% dos rejeitos de sacos de cimento. Os possíveis motivos que ocasionaram o acúmulo de pó de cimento na *Check Weigher* foram explorados através de um *Brainstorming* simulado pelo grupo, utilizando o Diagrama de Ishikawa, para se chegar a possíveis causas raízes. Foi utilizado o 5 Porquês para encontrar a principal causa raiz dos principais problemas extraídos do Diagrama de Ishikawa. Com o auxílio do 5W2H, foi criado um plano de ação para possível eliminação das anomalias.

Devido ao pouco tempo de acompanhamento do processo e, após adotar a hipótese de melhoria, que é a redução de 5% no índice de rejeito com a aquisição de 1 compressor de ar comprimido direcionado, exclusivamente, aos setores das *Ensacadeiras 1 e 2*, para melhorar o sistema de sopro e exaustão de pó de cimento que acumulava na correia transportadora, não foi possível verificar se a meta estipulada foi atingida. Porém, as intervenções diárias para limpeza que ocorriam frequentemente diminuíram drasticamente. Essa redução nas intervenções trará inúmeros benefícios para a empresa de âmbito econômico e agilidade do processo para atingir as metas de produção diária. Além disso, observou-se que o trabalho pode ser utilizado como fonte de potencial ajuda para outras empresas que enfrentam situações semelhantes.

Este estudo poderá também ser uma vantagem competitiva para a empresa na concorrência em termos de confiabilidade e custo, pois estar atingindo as suas metas de produção e consequentemente reduzindo o seu tempo de entrega dos pedidos de seus clientes. Sabe-se que, ainda há muito a fazer para melhorar e adaptar em situações futuras. Foi o primeiro passo dado para uma ideia que ainda gerará muitas outras melhorias, pois o processo é contínuo.

5. Referências

AGUIAR, S.: **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa seis sigma**. Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2012.

ANDRADE, Fábio Fellipe de. **O método de melhorias PDCA**. 2003. 157 f. Dissertação (mestrado em Engenharia de Construção e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

BOSCH, Robert. **Tecnologia de ar comprimido**. 2008. Disponível em: http://www.bosh.com.br/br/ferramentas_pneumaticas. Acesso em 13 de jan. 2013.

SOUZA, Breno F.. **Trabalho de “gestão da qualidade”**, 2011. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAE1igAI/gestao-qualidade-aula-06-gestao-qualidade-v-histograma#>. Acesso em 29 de nov. 2012.

CAMPOS, Falconi. **TQC controle da qualidade total (no estilo japônês)**. Fundação Cristiano Otoni/Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 1992.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC. Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. 1. ed. São Paulo: Editora Bloch editores S.A., 1994.

CAMPOS, Vicente Falcone. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2001

CERQUEIRA, Jorge P. **Sistemas de gestão integrados**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010.

DOSSIÊ - Eficiência Energética e Ambiental, **A importância do ar comprimido livre de umidade e de contaminação por óleo**, 2013. Disponível em: <http://www.mktproject.com.br/dossie/geral/33/>. Acesso em 20 de jun. 2012.

FOGLIATO, Flávio S.; DUARTE, José. **Confiabilidade e manutenção industrial**. 1. ed. São Paulo: Elsevier, 2009.

GLASSER, William. **Administração de liderança: qualidade e eficácia com uma moderna técnica de gerenciamento: a teoria do controle**. 1. ed. Best Seller, 1994.

GRAY, Clifford F.; LARSON, Erik W. **Gerenciamento de projetos**. 4.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2009.

ISHIKAWA, Kaoru. **Controle de qualidade total: à maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campos, 1993.

JURAN, J.M. **Juran planejando para a qualidade**. 3. ed. São Paulo: Pioneira, 2005.

MARSHALL, Isnard J.; ALVES, AGLIBERTO, Cierco; VARANDA, Alexandre R.; BARCELAR, Admarson M.; . **Gestão da qualidade**. 10 ed. São Paulo: FGV, 2010.

PALADINI, Edson P.. **Gestão da qualidade**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2004.

PATRIOTA, Iony P. **Manutenção centrada na confiabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

PINTO, Alan K., XAVIER, Júlio A. N. **Manutenção função estratégica**, Rio de Janeiro, Qualitymark Ed., 2001.

RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Ações para a qualidade**. 3 ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2010.

TAKAHASHI, Yoshikazu; OSADA, Takashi. **Manutenção produtiva total**. 3. ed. São Paulo: Instituto IMAM, 2002.

WERKEMA, M. C. C. **As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1995.