

ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO DE BALANÇA INTEGRADORA EM UM BENEFICIAMENTO DE CARVÃO MINERAL

Rony Abati¹

Guilherme Souza²

Resumo: O beneficiamento do carvão mineral é uma importante etapa no tratamento do minério e sua otimização pode ser alcançada pela automação de partes do processo. Neste trabalho, foi realizado a comparação entre o controle de estoque de carvão ROM utilizando o método convencional da empresa a qual emprega equação para estimativa, em relação a implementação de uma balança integradora para controle de material que é enviado para beneficiamento, sendo a diferença nos resultados comparadas. Observou-se que, apesar de inicialmente os resultados estarem muito próximos, ao longo dos dias de monitoramento a diferença entre os resultados alcançou cerca de 14%. Ao final de um mês de monitoramento, a diferença entre os métodos foi de 77,10 toneladas de carvão ROM enviado para beneficiamento. Além disso, em relação ao carvão beneficiado essa diferença resultante implica em 1,13% a mais na recuperação do mês em estudo. Assim, essa automação implica em um controle mais preciso do material em estoque e do material expedido para beneficiamento, sendo o primeiro passo para a elaboração de um balanço de massa do processo, etapa que implica diretamente nos custos e na otimização da produtividade, podendo transformar os dados em informações de negócios.

Palavras-chave: Carvão Mineral. Balança Integradora. Automação de processos.

1 INTRODUÇÃO

O carvão mineral é um combustível fóssil muito usado atualmente nas siderúrgicas e, principalmente, em usinas termoeletricas para a produção de energia. Desta forma, ocupando uma posição importante na geração da energia elétrica nacional, sobretudo em relação ao sul do país, onde as principais jazidas estão localizadas e as atividades de extração e beneficiamento movimentam um significativo valor no setor da economia.

Para sua utilização, o carvão mineral passa por diversas etapas, como a da etapa de beneficiamento, que vem sofrendo mudanças ao longo dos anos em

¹ Graduando em Engenharia Minas, ano: 2022. E-mail: rony.abati@riodeserto.com.br

² Professor do Centro Universitário UniSATC E-mail: guilherme.souza@satc.edu.br

diversos aspectos, visando otimizar seu processamento, de forma a aumentar produtividade, minimizar impactos ambientais e reduzir custos de maneira geral, como em sua extração.

Com o avanço do uso das tecnologias na indústria, uma das formas de garantir essa otimização é com a automação do sistema, que permite o conhecimento e controle de variáveis do processo, bem como levantamento de dados concretos que auxiliam na construção do balanço de massa do processo, reduzindo custos operacionais e auxiliando na garantia de competitividade em mercado. O balanço de massa do sistema do processamento desse minério é importante para a otimização das diferentes operações unitárias envolvidas em seu beneficiamento.

Entretanto, a automação ainda não é uma realidade para a maioria das empresas, devido ao elevado custo de implementação e também a disponibilidade de mão de obra baratas que podem executar o mesmo serviço sem necessitar de sua implementação.

Atualmente, na empresa onde será realizada a implementação do sistema de pesagem por balança integradora, o controle do carvão não beneficiado que é expedido do estoque é realizado por estimativa através de uma equação adotada pela empresa de mineração na qual o trabalho será desenvolvido. Entretanto, o balanço de massa para a etapa de beneficiamento é uma informação importante para otimização do processo, e que pode ser consideravelmente melhorada com a utilização de dados concretos como os que podem ser obtidos com a automação da pesagem do material que está sendo expedido do estoque.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo realizar a implementação de uma balança integradora em correia transportadora para alimentação da etapa de beneficiamento de carvão mineral e realizar a comparação dos resultados com a metodologia de cálculo utilizada pelo mesmo processo, apresentando os benefícios da automação do sistema em relação ao controle da quantidade de material enviada para beneficiamento e de material presente em estoque.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARVÃO MINERAL

O carvão mineral é uma rocha sedimentar, combustível, formada a partir da decomposição de vegetais que sofreram soterramento e se compactaram em bacias profundas ao longo de milhões de anos. A qualidade do carvão é determinada pela sua capacidade de produção de calor, ou poder calorífico, que está diretamente relacionado ao teor de carbono presente. O teor de carbono é ainda importante porque determina a maturidade geológica deste mineral, denominada rank, que representa o estágio de carbonificação atingido na sequência evolutiva, sendo também caracterizado pelo percentual de umidade, poder calorífico, e teor de hidrogênio (CANO, 2017; BORBA, 2001).

O carvão é o combustível fóssil mais abundante e melhor distribuído mundialmente, com reservas totais conhecidas superiores a um trilhão de toneladas. As reservas de carvão mineral no mundo possuem um volume aproximadamente de 860 bilhões de toneladas, com vida útil de 109 anos e as suas jazidas estão localizadas em 75 países. Destas, 75% concentram-se em cinco países: Estados Unidos, Rússia, China, Austrália e Índia, sendo que em 2020, por exemplo, a China produziu mais de 3.902 milhões de toneladas-ano (Mta). As reservas lavráveis nacionais ocupam o 10º lugar no ranking mundial, totalizando aproximadamente 6,6 bilhões de toneladas, correspondendo a menos de 1% das reservas mundiais. Já em termos de produção o Brasil ocupa somente a 26ª posição dentre os maiores produtores, com 6,0 Mta (DALPONT, 2017).

No Brasil, as jazidas estão localizadas principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, seguidos de Paraná e São Paulo. As camadas onde são encontrados variam de nulas (superfície) até 1200 metros de profundidade, e, portanto, a extração é feita tanto na superfície quanto subterrânea (CARNIATO, 2005; DALPONT, 2017).

Nacionalmente, o carvão produzido se destina basicamente à geração de energia termelétrica. De acordo com Carniato (2005), mais de 85% do carvão produzido nacionalmente é destinado para essa finalidade. Além disso, outros usos

do carvão podem ser destacados, como: produção de aço, fabricação de cimento, indústria de alumínio e papel, indústria química e farmacêutica, e na produção de combustível líquido e gasoso (DALPONT, 2017).

Assim, o carvão deve continuar desempenhando um papel importante como fonte de energia no cenário mundial, assim como no Brasil, devido a sua disponibilidade, com reservas bem distribuídas geograficamente e a variedade de formas em que é encontrado, podendo ser facilmente transportado e estocado nas proximidades de centros consumidores. Entretanto, seu futuro em longo prazo está cada vez mais ligado à disponibilidade comercial de captura e armazenamento de carbono, ao aumento de eficiência das termelétricas e à redução das emissões poluentes (DALPONT, 2017).

De acordo com o apresentado pelo Plano Nacional de Mineração 2030, o grande desafio é a produção e uso limpo do carvão mineral por meio de desenvolvimento de tecnologias limpas na cadeia produtiva e inovação aplicado à cadeia produtiva carbonífera, como também desenvolvimento de tecnologias para recuperação do passivo ambiental remanescente do processo de extração e beneficiamento.

Assim, nas últimas décadas a adoção de novas tecnologias por parte das empresas responsáveis busca melhorar o monitoramento do processo, visando o melhor aproveitamento, controle e a disposição de rejeitos e resíduos dos processos minerais, visando reverter a visão negativa do setor mineral (SILVA e AZEVEDO 2021). Associados a estas mudanças, no ano de 2022 o Governo Federal criou o Programa de Transição Energética Justa (TEJ) que tem, dentre outros princípios a promoção de uma transição energética justa para a região carbonífera do Estado de Santa Catarina, observados os impactos ambientais, econômicos e sociais e a valorização dos recursos energéticos e minerais alinhada à neutralidade de carbono a ser atingida em conformidade com as metas definidas pelo Governo Federal, que incluirá também a contratação de energia elétrica gerada pelo Complexo Termelétrico Jorge Lacerda – CTJL.

2.2 BENEFICIAMENTO DO CARVÃO

O maior custo na mineração o carvão está na sua extração, que pode acontecer em tanto em superfície como na forma subterrânea. No subsolo ou na superfície, estes ainda não possuem valor comercial, e encontram-se distribuídos em camadas misturados com outros minerais. No entanto, após a extração e beneficiamento, seu valor varia principalmente de acordo com o poder calorífico (SIECESC, 2016).

O termo beneficiamento ou “lavragem” do carvão é empregado para fazer referência às operações unitárias que visam reduzir ou remover esses contaminantes presentes no carvão. O nível de beneficiamento irá depender da qualidade do carvão e da indústria a que se destina, pois tem como objetivo gerar um produto com as características desejadas pelo mercado consumidor. Considerações econômicas e de mercado são fundamentais na decisão da metodologia utilizada no beneficiamento do carvão e do grau concentração e/ou remoção de contaminantes a ser atingido (KUERTEN, 2017).

As operações unitárias do processo fazem parte da cadeia de valor do produto, sendo que uma operação unitária sozinha normalmente não é suficiente para fornecer um produto final, e, portanto, são necessárias combinações das operações unitárias para levarem do minério inicial ao produto final. A escolha da sequência destas operações é que determina o sucesso de um dado circuito, (LUZ, SAMPAIO, ALMEIDA; 2004). Assim, a indústria do carvão envolve processos desde o minério bruto até o seu produto e utilização final, conforme apresentado no Fluxograma pela Fig. 1.

Em relação a etapa de beneficiamento propriamente dita, o método gravimétrico é uma das formas mais antigas de trabalho. Consiste no processo em que partículas de diferentes tamanhos, formas e densidades são separadas entre si pela ação da força da gravidade ou pela força centrífuga. Carvões são bastante heterogêneos na sua composição, onde um grande range de densidade é usualmente visto nas frentes de lavra, principalmente em relação ao material que não é de interesse, denominado de “rejeito”. Assim, a eficiência de um beneficiamento é dada pela recuperação mássica de produto (nesse caso o carvão) em relação à alimentação

de material lavrado (nesse caso o carvão não beneficiado) (SAMPAIO e TAVARES 2005). A Fig.2 apresenta as etapas clássicas de um beneficiamento de carvão.

Figura 1: Fluxograma do processamento do carvão mineral.



Fonte: Adaptado de CANO (2017)

Kuerten (2017) explica que no processo de beneficiamento gravimétrico, método comumente empregado na separação de carvões, carvões de densidade bem abaixo da densidade de separação e impurezas com densidade bem acima da densidade de separação são facilmente separados em suas correntes de produto e rejeito. Entretanto que carvões cuja densidade se aproximam da densidade de separação tem uma determinada probabilidade de se reportar a corrente de rejeitos, da mesma forma, rejeitos com densidade próxima a densidade de separação tem

certa probabilidade de se reportar a corrente de concentrado, este fenômeno pode ser melhor visualizado quando plotada a curva do NGM - *Near Gravity Material*.

Figura 2: Etapas de um beneficiamento de carvão.

<ul style="list-style-type: none"> • Classificação e britagem; 	 	<ul style="list-style-type: none"> • Britador de rolos; • Peneira classificadora;
<ul style="list-style-type: none"> • Tratamento de partículas grossas; 	 	<ul style="list-style-type: none"> • Jigue; • Meio Denso
<ul style="list-style-type: none"> • Tratamento de partículas finas; 	 	<ul style="list-style-type: none"> • Flotação; • Tratamento para partículas finas;
<ul style="list-style-type: none"> • Operação de desaguamento de frações grossas; 	 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamentos para desaguamento;
<ul style="list-style-type: none"> • Operação de desaguamento de frações finas; 	 	<ul style="list-style-type: none"> • Bacias de sedimentação; • Filtro prensa;

Fonte: Adaptado de Smariotto (2014)

2.3 AUTOMAÇÃO DE PLANTAS DE BENEFICIAMENTO

A automação e a tecnologia de sensores, podem ser aplicadas nas diferentes etapas da indústria de mineração. Alguns tipos de sensores já são bastante conhecidos, como os sistemas de anticollisão para veículos na mineração e de análise online de qualidade de minério, nas etapas de perfuração, desmonte e no controle de qualidade. Uma das vantagens competitivas da automação das plantas de

beneficiamento é a capacidade de prover produtos de acordo com as demandas do mercado (KUERTEN, 2017).

De acordo com Moraes e Castrucci (2007), entende-se por automação qualquer sistema, apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, da rapidez da produção ou da redução de custos, assim aperfeiçoando o complexo objetivo das indústrias e dos serviços. Além disso, ela decorre das necessidades de especificações numéricas de tolerâncias, maior flexibilidade de modelos para o mercado, maior segurança pública e dos operários, menores perdas materiais e energéticas, mais disponibilidade e qualidade da informação sobre o processo e melhor planejamento e controle da produção.

Entretanto, a implementação da automação ainda não é difundida por conta do elevado custo e da disponibilidade de mão de obra barata. Assim, implementações da automação em partes críticas do processo são propostas como uma abordagem inicial (LUZ, 2012).

A utilização da balança integradora por correia transportadora é um equipamento que mede a vazão mássica de um material que está sendo transportado, e que além de medir esta vazão, pode calcular a massa total do material transportado em um determinado período. Assim, são uma valiosa ferramenta no controle de processos, controle de estoque e auxílio na construção de balanços de massa de um processo como um todo. Uma imagem da correia com a balança integradora pode ser observada na Fig. 3 (BEXTRA, 2022).

As balanças de esteira são ideais para indústrias que necessitem de pesagem contínua e de grande volume, seja esta pesagem para fins de fabricação de misturas, ou para totalização de produção, sendo que representam uma valiosa ferramenta no controle de processos, no controle de estoque, no balanço de massa e no controle de materiais com a finalidade de faturamento (BEXTRA, 2022).

Conforme Guedes (2016) mediante uma solicitação de trabalho a balança irá verificar a carga existente na célula de carga e baseado na vazão solicitada aumentará ou diminuirá a velocidade da correia. É um equipamento projetado para

manter o fluxo de descarga constante, pois controla o fluxo de material sobre a correia, registrando informações completas do processo.

Ainda, os equipamentos de qualquer tipo de indústria possuem uma capacidade máxima de trabalho que precisa ser respeitada para evitar problemas mecânicos, transbordos e paralização da planta por sistemas de proteção, acarretando perdas produtivas. Dessa forma, a utilização de equipamentos para acompanhamento da vazão mássica nas rotas do processo, favorecem o controle de uma produção (MOREIRA, EUZÉBIO, MIOLA, 2017).

Figura 3: Modelo de balança Integradora



Fonte: Adaptado de Bextra (2022)

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste tópico serão descritos os procedimentos adotados para a automação do sistema de controle de estoque de carvão não beneficiado de uma unidade Mineradora da região carbonífera de Santa Catarina. A Fig. 4 exemplifica o estoque

de carvão não beneficiado (também chamado de carvão ROM – run of mine), pilha a qual será monitorada a quantidade presente ao longo dos dias de operação evidenciados neste trabalho.

Figura 4: Estoque de carvão não beneficiado.



Fonte: Autor (2022)

3.1 COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE MEDIÇÃO

Todo o carvão bruto que é lavrado é pesado e enviado para o estoque para homogeneização da pilha. Na sequência do estoque, o material é levado para beneficiamento, entretanto nessa etapa a corrente de saída não possui sistema de pesagem contínua integrada. Uma estimativa é realizada todos os dias e computada através do cálculo apresentado pela Eq. (1). Para o levantamento de dados, é necessário que todos os dias sejam coletadas a massa transportada em 1 metro da correia transportadora, e que também seja monitorado e anotado o tempo total em que a correia permaneceu operando.

$$F_{mc} = \frac{V_c \times m_c \times 3600}{1000} \quad (1)$$

Onde:

F_{mc} = Fluxo de massa da correia de alimentação (ton/h);

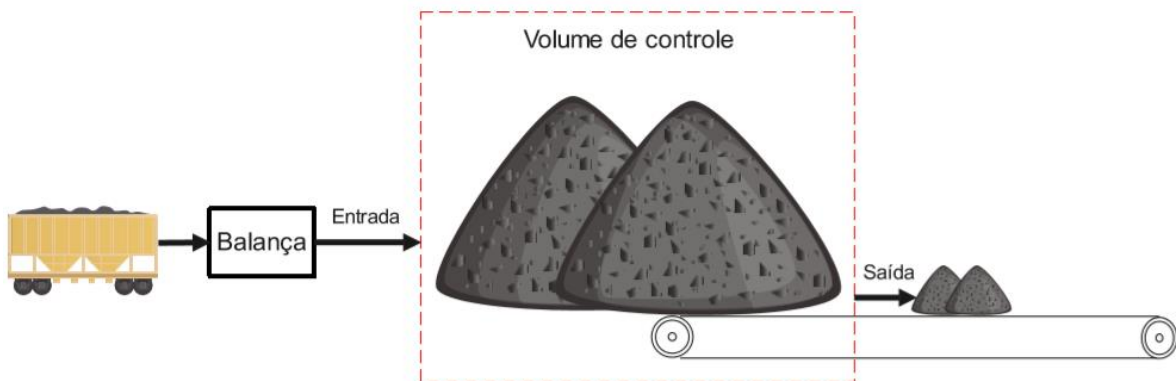
V_c = Velocidade da correia (m/s);

m_c = Massa coletada da correia transportadora em 1 metro de correia (kg/m).

Assim, o presente trabalho propõe implementar uma balança integradora por correia transportadora que realiza o monitoramento por período de tempo controlado e consegue registrar ao final de um dia de trabalho o total de material que permanece em estoque pela diferença entre o que foi lavrado e o que foi enviado para beneficiamento.

Para fins de comparação, durante 20 dias de operação, equivalente ao mês de outubro de 2022, onde foram registrados os dados de massa na saída do processo após a implementação da balança integradora e através do cálculo que era usado anteriormente (apresentado na Eq. 1) e os resultados serão apresentados e comentados. A Fig. 5 exemplifica o processo e a pilha de estoque na qual se deseja realizar o controle (também chamado de volume de controle), ou seja, o estoque que se deseja monitorar e realizar o levantamento do balanço de massa. A Eq. (2) apresenta o cálculo para obter o acúmulo de material que permanece em estoque.

Figura 5: Exemplificação do processo e volume de controle.



Fonte: Do autor (2022)

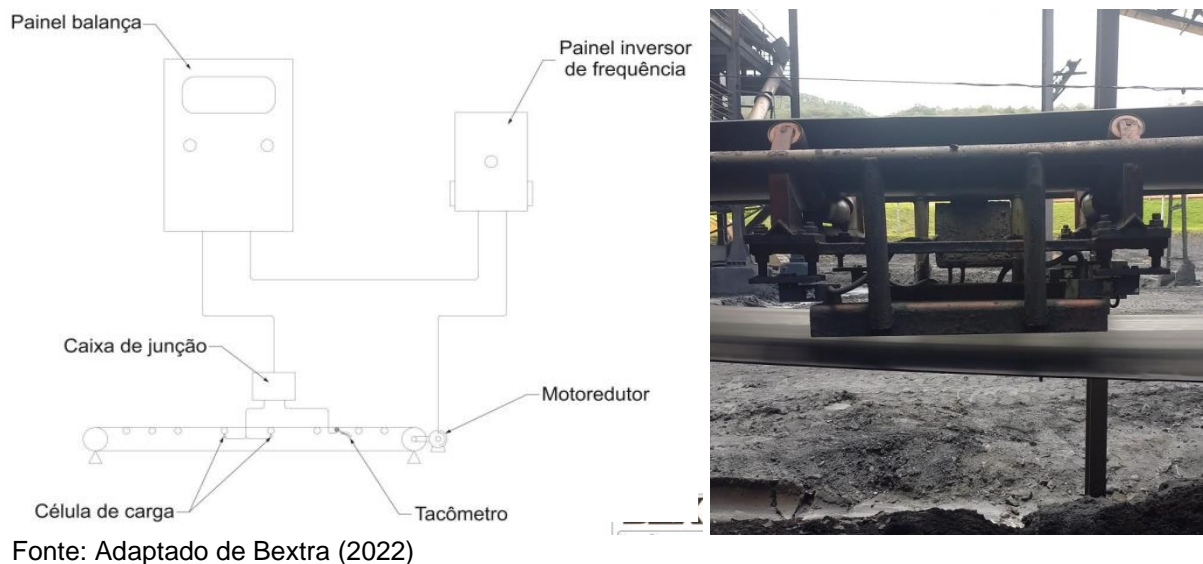
$$\textit{Acumulo} = \textit{entra} - \textit{sai} + \textit{gerado} - \textit{consumido} \quad (2)$$

No sistema de estudo em específico, o objetivo é apenas encontrar o acúmulo de material no estoque por meio do monitoramento das correntes de entrada e saída de massa. Não ocorrem as etapas de geração e consumo de reagentes e produtos.

3.2 INSTALAÇÃO DA BALANÇA INTEGRADORA E COLETA DE DADOS

A balança integradora foi instalada na corrente de saída da pilha de estoque. A ponte de pesagem da balança integradora que foi instalada é do tipo Full Eletrônica, ou seja, a transmissão de peso é feita diretamente sobre as células de carga, que recebem a força transmitida pela plataforma de pesagem convertendo-a em um sinal elétrico que é levado ao integrador. Uma exemplificação da balança integradora instalada é apresentada na Fig. 5, onde são comparadas uma figura representativa fornecida pela empresa de balança com uma imagem real obtida na planta de operação industrial.

Figura 5: Balança integradora para correia transportadora.



Com a instalação da balança integradora, juntamente com a ligação dos dados para um CLP (controlador lógico programável) ligado no sistema de rede da planta industrial, os dados da balança integradora são obtidos em tempo, com a alimentação exata da usina em ton/h. Uma imagem do display de monitoramento é

apresentada na Fig. 6, onde é possível observar que os dados podem ser computados por turnos de operação, como também em um dia total de trabalho ou até mesmo em um mês de operação.

Figura 6: Display com apresentação de dados diários por turno de produção.

BALANCA CT1	
0.0 TON/H	
TURNO 1	0.0 TON
TURNO 2	794.8 TON
TURNO 3	1297.8 TON
DIÁRIO	2092.6 TON
MENSAL	22807.0 TON

Fonte: Do Autor (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste trabalho são apresentados e discutidos nos itens subsequentes.

4.1 COLETA DE DADOS E CONVERSÃO POR MEIO DE EQUAÇÃO

A Tab. 1 apresenta os resultados obtidos empregando a coleta de dados e aplicando a Eq. (1). A velocidade da correia não é medida todos os dias, apenas é reestabelecida após períodos de paradas prolongadas ou eventuais manutenções, desta forma o valor tomado como padrão para os dias de acompanhamento é o valor de 2,38 m/s. Ainda, para o cálculo de acúmulo, utilizou-se uma estimativa de 800 ton como valor de partida para a quantidade de carvão ROM em estoque para o mês de outubro (mês de controle).

A massa coletada é expressa em ton/h, e por isso, o número de horas totais operadas no dia precisa ser multiplicado pelo fluxo mássico para obter a massa total de carvão ROM que foi encaminhado para beneficiamento, e, conseqüentemente, o acúmulo estimado para o material em estoque. Todos os dados coletados são em base úmida (bu).

Tabela 1: Resultado do acúmulo de carvão ROM em estoque pela medição aplicando a equação.

Data	Massa entrada (ton)	Massa coletada (kg/m)	Fluxo de massa (ton/h)	Número de horas operadas	Massa saída (ton)	Acúmulo (ton)
03/10/2022	2089,0	24,3	208,2	10,7	2227,8	661,3
04/10/2022	2054,3	22,8	195,3	11,8	2305,1	410,4
05/10/2022	2280,9	24,8	212,5	11,4	2422,3	269,0
06/10/2022	1904,1	24,9	213,3	9,2	1954,2	218,8
07/10/2022	1079,6	22,7	194,5	5,8	1128,1	170,4
10/10/2022	2101,2	22,9	196,2	10,7	2099,4	172,2
11/10/2022	2282,4	23,5	201,3	10,8	2174,6	280,1
13/10/2022	2295,3	22,9	196,2	11,1	2177,9	397,5
14/10/2022	2294,3	22,7	194,5	10,8	2100,5	591,2
17/10/2022	3010,8	23,9	204,8	13,2	2703,0	898,9
18/10/2022	1415,1	24,8	212,5	8,5	1806,1	507,9
19/10/2022	2199,1	24,1	206,5	10,1	2085,5	621,5
20/10/2022	2053,0	24,3	208,2	10,5	2186,1	488,4
21/10/2022	2164,2	23,4	200,49	10,1	2025,0	627,6
24/10/2022	2221,2	23,9	204,78	7,9	1617,7	1231,1
25/10/2022	1667,5	23,3	199,63	6,7	1337,6	1561,1
26/10/2022	1992,2	22,9	196,2	10,5	2060,2	1493,2
27/10/2022	722,3	23,9	204,8	8,2	1679,2	536,3
28/10/2022	1582,1	24,2	207,3	6,4	1327,0	791,4
31/10/2022	1725,5	24,3	208,2	9,1	1894,6	622,3

Fonte: Do autor (2022)

De acordo com os resultados obtidos é possível observar que a vazão mássica permanece muito próximo da constância, variando entre 194,5 ton/h e 213,3 ton/h. Assim, os resultados de massa de carvão ROM enviados para beneficiamento

estão diretamente associados ao número de horas operados no dia. Esse controle é realizado por uma pessoa todos os dias no momento que liga a correia transportadora até o momento em que ela é desligada, e não contabiliza pequenas paradas no processo, por exemplo.

4.2 COLETA DE DADOS POR MEIO DA BALANÇA INTEGRADORA

A Tab. 2 apresenta os resultados coletados por meio da utilização da balança integradora implementada ao processo. Conforme já apresentado pela Fig. 6, o sistema implementado consegue registrar o total expedido para o beneficiamento, tanto por turnos, quanto em um dia completo de operação.

Tabela 2: Resultado do acúmulo de carvão ROM em estoque pela medição aplicando a balança integradora.

Data	Massa entrada (ton)	Massa saída (ton)	Acúmulo (ton)
03/10/2022	2089,0	2.225,9	663,2
04/10/2022	2054,3	2.304,3	413,2
05/10/2022	2280,9	2.430,9	263,2
06/10/2022	1904,1	1.954,1	213,2
07/10/2022	1079,6	1.129,6	163,2
10/10/2022	2101,2	2.098,4	166,1
11/10/2022	2282,4	2.182,4	266,1
13/10/2022	2295,3	2.185,5	375,9
14/10/2022	2294,3	2.094,3	575,9
17/10/2022	3010,8	2.710,8	875,9
18/10/2022	1415,1	1.815,1	475,9
19/10/2022	2199,1	2.092,6	582,4
20/10/2022	2053,0	2.189,3	446,2
21/10/2022	2164,2	2.039,5	570,9
24/10/2022	2221,2	1.621,2	1170,9
25/10/2022	1667,5	1.346,2	1.492,2
26/10/2022	1992,2	2.056,0	1.428,5
27/10/2022	722,3	1.689,2	461,5
28/10/2022	1582,1	1.329,3	714,3

31/10/2022

1725,5

1.884,3

555,6

Fonte: Do autor (2022)

Desta forma, o cálculo do acúmulo se torna muito mais fácil e preciso, sem a necessidade de emprego de mão de obra para realizar as pesagens da massa de carvão ROM diárias e para controle de tempo de operação.

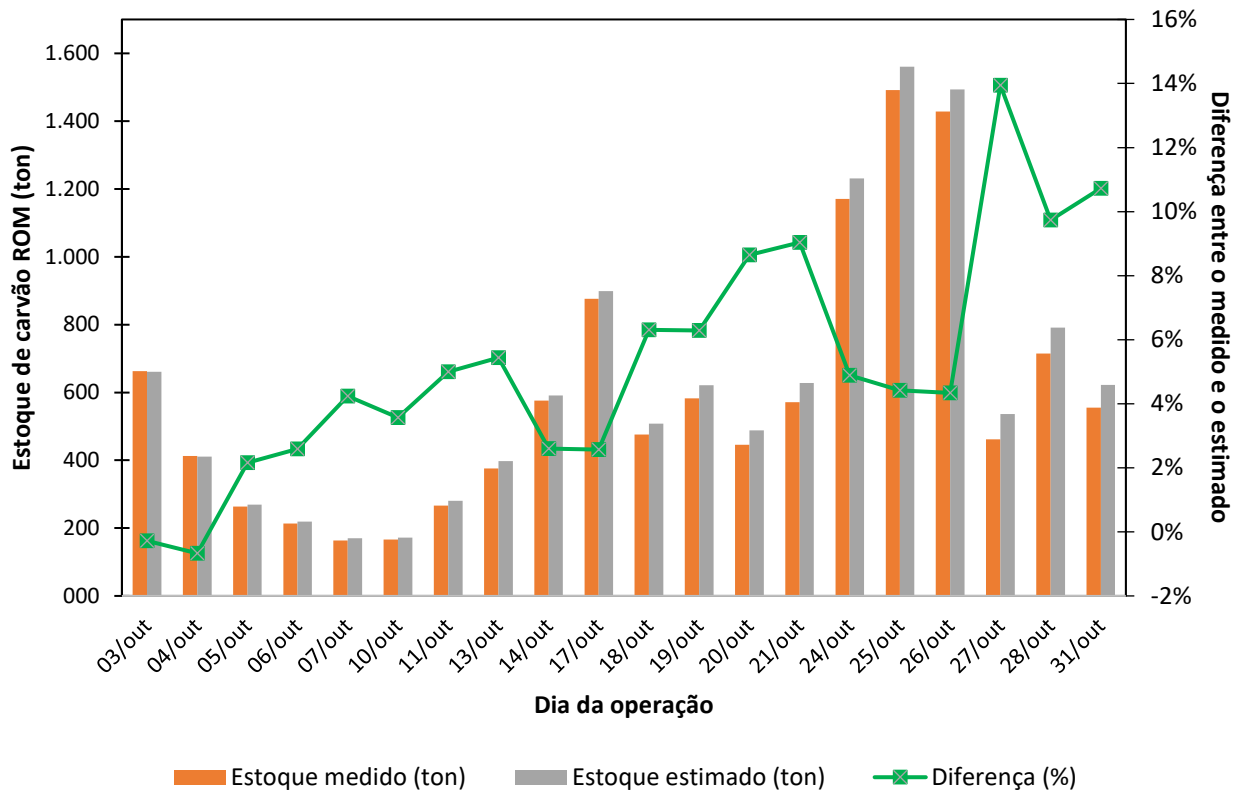
Destaca-se também que a implementação de um sistema deste evita que problemas decorrentes de medidas realizadas de forma empírica ocorram já que, de acordo com os resultados, há uma variação dos valores quando medido de diferentes formas.

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS E GANHOS DO PROCESSO

A Fig.7 apresenta os resultados comparativos entre a quantidade de carvão ROM em estoque quando calculadas por equação em relação à utilização da balança integradora implementada ao processo.

Figura 7: Gráfico comparativo entre os resultados de estoque medido pela balança

integradora e estimado por equação.



Fonte: Do autor (2022)

Observa-se que inicialmente a diferença entre os resultados obtidos para o estoque era muito próxima de zero. Entretanto, na sequência de dias de operação, a diferença entre os resultados começou a se tornar mais expressiva, sendo que, a partir do quarto dia de monitoramento, o estoque estimado passou a ser sempre maior que o estoque medido, chegando a uma diferença de cerca de 14%.

Essa diferença foi pouco aparente em alguns dias, como entre os dias 01 a 06 de outubro, porém bem significativa ao decorrer dos dias observados, como para o dia 28 de outubro. Nesse dia, por exemplo, a estimativa de acúmulo por meio da diferença entre o carvão lavrado e o que foi expedido e controlado por balança foi de 714,3 ton, uma diferença em massa de 77,1 ton, em relação ao que foi estimado por equação (791,4 ton).

Ao final de um mês de monitoramento, onde um total de 39.134,28 toneladas de material foram lavrados, alguns pontos puderam ser observados. De acordo com os dados monitorados pela balança integradora, foram beneficiados

39.378,71 toneladas de carvão ROM, e de acordo com os dados obtidos por equação foram beneficiados 39.311,99 toneladas de material. Isso resulta numa diferença de 66,72 toneladas de material (equivalente a 0,17% de diferença entre os métodos comparados). Essa diferença é acumulativa ao longo dos meses de operação e tende a se tornar cada vez maior, pois implica numa estimativa equivocada da quantidade de carvão não beneficiado em estoque.

Ainda, a implementação da balança colabora em melhorias que podem ser alcançadas no controle relacionado ao beneficiamento do carvão ROM. Os dados mais concretos a respeito da quantidade expedida possibilitam a construção do balanço de massa do processo de beneficiamento, implicando na melhoria contínua do beneficiamento, resultando em melhores perspectivas técnicas e econômicas pois acabam influenciando diretamente em tomadas de decisões operacionais as quais impactam positivamente no melhoramento de todo o processo.

Os resultados encontrados corroboram com o exposto por Vale (2014), a qual diz que a automação é peça chave no ramo da mineração e deve ser analisada em todas as etapas do projeto, e que sua criação visa diminuir o custo de um produto melhorando a qualidade dele. Assim com a automação, pode-se transformar dados em informação de negócio, como também o projeto é implementado de forma segura e eficiente, minimiza os impactos com o meio ambiente e atendendo os requisitos no que se refere à otimização.

A autora Vale (2014) comenta também que a automação é erroneamente vista como um custo adicional do projeto, porém que é a área estratégica que potencializa e qualifica os resultados empresariais.

4.4 BENEFICIAMENTO DO CARVÃO

A etapa de beneficiamento do carvão acontece subsequente ao transporte do material que estava em estoque, e por isso sua automação é tão importante. Na planta de beneficiamento o carvão mineral bruto é recebido, através de correias transportadoras, com o objetivo de beneficiá-lo de acordo com as necessidades do mercado. Num primeiro momento o carvão é cominuído em britadores, onde irá

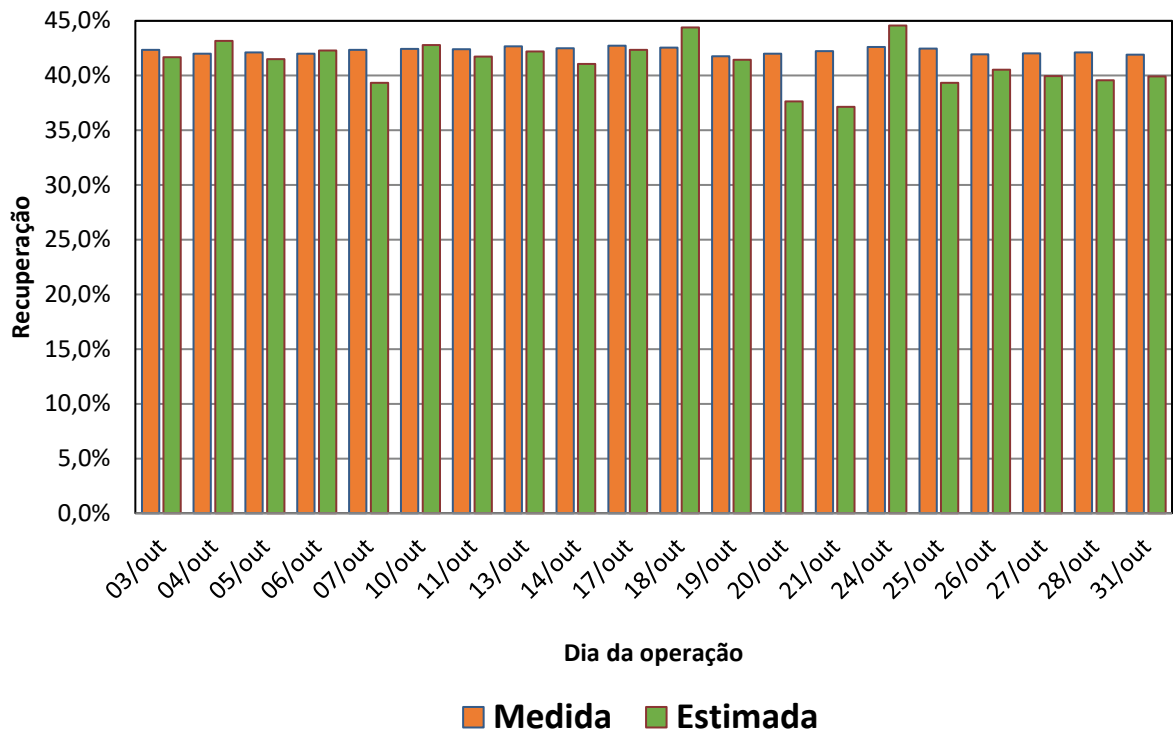
ocorrer a redução de suas dimensões, variando de acordo com a especificação do cliente. Na próxima etapa o carvão é encaminhado novamente por correias transportadoras até o beneficiamento propriamente dito, que podem ocorrer por diferentes processos, e onde três produtos podem ser obtidos: carvão beneficiado, carvão intermediário e ganga (ZEPKA, 2021).

O carvão beneficiado é encaminhado para o pátio de armazenagem através de correias transportadoras, estando assim apto para o processo de moagem nos moinhos e posteriormente a queima na caldeira. O carvão intermediário é encaminhado novamente para o início do processo de beneficiamento, e a ganga é armazenado para um posterior descarte (ZEPKA, 2021).

A automação do processo implica diretamente na melhora da quantificação da quantidade de carvão recuperada no beneficiamento. A Fig. 8 apresenta o impacto no percentual final da recuperação de carvão quando empregando os valores medidos e os estimados durante o acompanhamento no mês de outubro de 2022.

Conforme pode ser observado na Fig. 8, os resultados obtidos por meio da quantidade medida pela balança integradora apresentam uma constância, diferente do que é observado para os resultados de recuperação diária realizada por meio de estimativa. Em média, a recuperação diária para o mês de outubro por meio da quantidade medida foi de 42,26%, valor maior do que a média da quantidade diária estimada, que foi de 41,13%.

Figura 8: Tabela de dados de recuperação de carvão referente ao mês de monitoramento.



Fonte: Do autor (2022)

A diferença entre os resultados é de 1,13% a mais para os valores medidos. Essa diferença pode parecer pequena, mas quando considerando o total enviado para beneficiamento no mês (39.378,71 toneladas), isso significa uma diferença de 444,98 toneladas a mais de carvão beneficiado. Isso demonstra a importância da balança integradora no processo de alimentação do beneficiamento e como sua utilização pode trazer benefícios positivos para o conhecimento e levantamento de dados de processamento.

Isso demonstra novamente que a automação do processo permite o conhecimento de cada uma dessas correntes de produtos obtidos, auxiliando na compreensão a respeito da qualidade do material extraído. Isso pode ser mensurado através da relação mássica de rejeito produzido em relação ao material que está sendo encaminhado ao beneficiamento, por exemplo. Outro benefício é a avaliação da qualidade da etapa de beneficiamento, que pode ser compreendida em relação a quantidade de carvão intermediário que retorna ao beneficiamento, por exemplo.

Também, as atividades de manutenção podem ser definidas e melhor programadas com base na quantidade de material expedida através da quantidade de material que passou pela correia transportadora, não atuando apenas em manutenção corretiva, mas também em preventiva e preditiva, por exemplo (ZEPKA, 2021).

5 CONCLUSÕES

As práticas associadas as atividades da mineração e beneficiamento do carvão são antigas, sendo que em alguns aspectos, a empresa pode estar deixando de ganhar economicamente devido à custos que poderiam ser evitados a partir da automação de alguns processos.

Os resultados indicados neste trabalho demonstram que a utilização de uma balança integradora acoplada a correia transportadora de material encaminhado para o beneficiamento, confere uma diferença na alimentação. Essa diferença chega a mais de 70 toneladas em um dia de operação, totalizando uma diferença de 14% ao longo de um mês de estudo. Além disso, uma diferença em relação a quantidade de carvão beneficiada também é observada, implicando em uma diferença de cerca de 444,98 toneladas a mais quando os valores são medidos e não estimados.

Isto corrobora com o apresentado por literaturas, as quais indicam que a automação pode gerar otimização do processamento e minimização de erros, proporcionando melhor qualidade nos resultados, minimizando os custos de operação e tornando o processo mais ágil e confiável.

Como trabalhos futuros, a continuidade da automação do sistema é sugerida, como forma de alcançar o controle da etapa de beneficiamento do processo, buscando sua otimização através da minimização de erros associados a mão de obra.

REFERÊNCIAS

- BORBA, F.R. **Balanco mineral brasileiro de 2001 – carvão mineral**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001>>. Acesso em: 05 novembro 2022.
- BEXTRA - sistema de pesagem**. Disponível em: <<https://bextra.com.br/produto/balancaintegradoradosadora>>. Acesso em: 17 outubro 2022.
- CARNIATO, A. **Planejamento da produção e mistura de carvão mineral: programação matemática e estudo de caso**. 2005. 139f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/101608/224774.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 outubro 2022.
- CANO, T. M. **Mineração de energia – carvão**. 2017. 19f. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/2-2-carvao>>. Acesso em: 9 outubro 2022.
- Conselho do Programa de Transição Energética Justa**. Resolução nº 2, de 25 outubro 2022.
- DALPONT, G. **Avaliação tecnológica da viabilidade de gaseificação de carvões brasileiros**. 2017. 119f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/185570/PENQ0732-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>. Acesso em: 17 outubro 2022.
- GUEDES, R. S. **Estudos sobre calibração de uma balança dosadora de correia**. 2016. 59f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1036/1/MONOGRAFIA_EstudoEstudosC%C3%A7%C3%A3oBalan%C3%A7a.pdf>. Acesso em: 03 novembro de 2022.
- KUERTEN, A. S. **Pré-concentração de carvão mineral da mina de moatize com tecnologia sensor based sorting – SBS**. 2017. 90f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pósgraduação em Engenharia de Minas Metalurgia e de Materiais da Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/163429>>. Acesso em: 27 setembro 2022.
- LUZ, A. B. **Tendências e inovações tecnológicas** - Manual de Agregados para Construção Civil. 2012. p.313. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2059/1/Cap%2017%20Tend.Inov.Tecnol%b3gica.pdf>>. Acesso em: 11 abril 2022.
- LUZ, A. B. SAMPAIO, J. A. ALMEIDA, S. L. M. **Tratamento de minérios**. 2004. p.15. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2059?mode=full>>. Acesso em: 25 maio 2022.

MORAIS, C. C. CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MOREIRA, V. S. EUZÉBIO, T. A M. MIOLA, W. Aplicação de soft sensor de baixo custo para medição de vazão mássica de minério em transportador de correia. **XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente**. Porto Alegre, 2017. Disponível em: < https://www.sba.org.br/Proceedings/SBAI/SBAI2017/SBAI17/papers/paper_560.pdf>. Acesso em: 03 novembro 2022.

SAMPAIO, C.H. e TAVARES, L. M.M. **Beneficiamento gravimétrico**: Uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade. Porto Alegre: UFRGS, 2005.

Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral. **Plano Nacional de Mineração 2030**. Disponível em: < <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/destaques-do-setor-de-energia/plano-nacional-de-mineracao-2030>>. Acesso em: 15 outubro 2022.

SIECESC – Sindicato da industria de extração de carvão do estado de Santa Catarina. Disponível em:<<https://www.siecesc.com.br>>. Acesso em: 11 abril 2022.

SILVA, C. R.; AZEVEDO, R. L. G. Recursos minerais do Brasil: diretrizes para o setor mineral. **Revista Terra e Didática**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8661199/26699>>. Acesso em: 27 outubro 2022

SMANIOTTO, A.L.A. **Beneficiamento do carvão em Santa Catarina**. Curso de Beneficiamento de carvão. Criciúma, 2014.

VALE, J. M. C. **Estratégias de Controle no Processamento de Minério de Ferro**. 2014. 46f. Monografia (Pós Graduação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2014. Disponível em: < https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/VRNS-9QBM7/1/monografia_jv.pdf>. Acesso em: 26 outubro 2022.

ZEPKA, V.H.G. **Plano de manutenção preventiva em uma planta de beneficiamento de carvão mineral**. 2021. 158. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2021. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/rii/5797/1/TCC_Victor_Hugo_Goncalves_Zepka__Corrigido_.pdf> Acesso em: 22 outubro 2022.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pelo dom da vida. Em especial, à minha esposa Giulia pelo apoio e compreensão, meus pais que sempre me incentivaram a cursar uma nova graduação.

As empresas Rio Deserto, em particular, toda a equipe da Mina Cruz de Malta, pelo apoio na elaboração deste projeto.

Ao professor Dr. Guilherme Souza por aceitar e conduzir a orientação do trabalho, ao coordenador do curso de Engenharia de Minas professor André Luiz Amorim Smaniotto, ao professor Richard de Medeiros Castro pelo conhecimento repassado nas disciplinas de trabalho de conclusão do curso e, a todos os professores e colegas de curso.

LISTA DE SÍMBOLOS

Rom	run-of-mine	É o minério obtido diretamente da mina
Fmc	fmc	Fluxo de massa na correia
Vc	vc	Velocidade da Correia
Mc	Mc	Massa do minério na correia
Bu	bu	Base úmida, material com umidade
CLP	PLC	Controlador lógico programável