

MEDIÇÃO ROBOTIZADA DE UMIDADE EM CAMPO DE FINOS DE MINÉRIO DE FERRO APÓS FILTRAGEM EM FILTROS DE DISCOS VERTICAIS A VÁCUO*

Luciano França Rocha¹
Rafael Damasceno²
Alexandre Moure²
Marcelo Souza de Castro²
Gustavo Ferreira Viana¹
Bruno Marim de Lima³
Rafael Leo Fantoni³

Resumo

A medição online de umidade de finos de minério de ferro sempre foi uma informação muito desejada nas plantas de pelotização de minério de ferro. Controlar a umidade do pellet feed produzido pela unidade de filtragem além de possibilitar maximizar a produção deste setor da planta garante uma maior estabilidade no processo de pelotamento e de endurecimento. Para conseguir entregar esta medição à sala de controle, iniciamos um projeto utilizando a metodologia Design For Six Sigma para desenvolver uma forma de medição desta grandeza. Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica sobre o assunto. Posteriormente, foram realizadas visitas técnicas que eliminaram algumas possíveis tecnologias de medição. Finalmente, foram avaliadas as tecnologias de Absorção de RF e medição por um braço robótico para serem avaliadas. O primeiro teste industrial foi realizado com um medidor de absorção de RF que não apresentou bons resultados. A faixa de interesse de medição é muito estreita (9% a 11% de umidade). Esse fato exige uma boa precisão do equipamento para que a medida tomada do processo seja útil e sua incerteza não ocupe toda a faixa. Como nenhuma das tecnologias de medição online existentes no mercado se mostrou precisa suficiente para a aplicação, a alternativa foi utilizar um braço robótico para coletar, secar e medir a umidade através do método tradicional feito por um robô. Esta última alternativa se mostrou robusta e adequada ao controle de processo da unidade de filtragem, produzindo resultados confiáveis e precisos.

Palavras-chave: Instrumentação; Robótica; Filtragem; Medição de umidade.

ROBOTIC FIELD MEASUREMENT OF MOISTURE IN PELLET FEED FILTERED BY VERTICAL DISCS VACUM FILTERS

Abstract

The online moisture measurement of iron ore fines has always been much desired information in an iron ore pelletizing plants. The control of moisture of the pellet feed produced by the filter unit enables maximizing the production of this plant sector and ensures greater stability in pelletizing and induration. To successfully deliver this measurement to the control room, we started a project using the Design for Six Sigma methodology to develop a way to measure this iron ore property. Initially a bibliography review study and technical visits have been made to eliminate some possible measurement technologies. The focus last on two technologies: RF Absorption and measurement by a robotic arm. The first industrial test was conducted with a RF Absorption instrument that did not have shown good results. The range of measurement is narrow (9% to 11 % moisture) which requires an equipment with good precision to ensure that the measurement taken from the process are useful and its inaccuracy does not occupy the entire range of the process. As none of the existing technologies in the market was proof to have accuracy enough for the application, the alternative was to use a robotic arm to collect, dry and measure moisture through the traditional method. This last alternative has been shown robust and suited to process control of the filter unit, producing reliable and accurate results.

Keywords: Instrumentation; Robotics; Filtration; Moisture measurement.

¹ Engenharia Elétrica, Eng^o, Engenheiro de Automação, Departamento de Automação e Instrumentação, Samarco Mineração S/A, Anchieta, ES - Brasil.

² Técnico de Automação Industrial, Tec., Técnico de Automação, Departamento de Automação e Instrumentação, Samarco Mineração S/A, Anchieta, ES - Brasil.

³ Instrumentação Industrial, Tec., Técnico de Instrumentação, Departamento de Automação e Instrumentação, Samarco Mineração S/A, Anchieta, ES - Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O objetivo inicial deste trabalho era produzir uma medição on-line de umidade dos finos de minério de ferro que são produzidos pela área de filtragem da terceira planta de pelotização da Samarco localizada em Anchieta – ES.

A área de filtragem da planta possui 15 filtros de discos verticais a vácuo que removem aproximadamente 90% da água contida na polpa de minério de ferro que é recebida na unidade de Ponta Ubu através de um mineroduto de 400 km de extensão que tem início em Mariana-MG onde ficam localizadas as minas da empresa.

Medir a umidade do minério que sai da filtragem é importante para controlar este processo e possibilita maximizar a sua produtividade. Além disso, estabilizar esta grandeza contribui para que os processos subsequentes da cadeia produtiva sejam menos impactados com as variações do percentual de água no minério.

A umidade é medida pelo laboratório a cada 2 horas. Devido ao tempo elevado entre os resultados das análises laboratoriais das amostras que são retiradas do processo sempre se desejou uma medição online desta grandeza.

O grande desafio de se realizar uma medição precisa de umidade está na faixa estreita de interesse. Esta faixa é delimitada pelos limites inferior e superior de especificação, que de agora em diante chamaremos de LIE e LSE respectivamente. Para que o minério de ferro esteja adequado para as próximas etapas da cadeia produtiva o LIE deve ser de 9% e o LSE de 11%.

Portanto, o sistema de medição deverá ser preciso o suficiente para que a sua repetitividade ocupe uma faixa aceitável dentro dos limites de interesse.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para especificar um sistema para realizar a medição de umidade é preciso estabelecer claramente os requisitos da aplicação.

Uns dos requisitos mais importantes são a sua precisão e exatidão. É importante estabelecer o quão preciso deve ser este sistema para que atenda a necessidade da aplicação.

Segundo Werkema [6] define-se precisão como a variância do sistema de medição que é composta pela soma de outras duas variâncias:

$$\sigma_{\text{medição}}^2 = \sigma_{\text{repe}}^2 + \sigma_{\text{repro}}^2$$

Onde:

σ_{repe}^2 = Variância devida à repetitividade do sistema

σ_{repro}^2 = Variância devida à reprodutibilidade do sistema

A repetitividade de um sistema de medição é a variância das medidas obtidas por um mesmo operador ao medir objetos iguais. E a reprodutibilidade de um sistema de medição é a variância das medidas obtidas por operadores diferentes utilizando o sistema para medir objetos iguais [6].

Como o projeto busca um sistema automático de medição, pode se considerar que a reprodutibilidade é igual a zero.

Considerando que na maior parte dos casos as diversas medidas tomadas de um mesmo objeto por um único operador possuem uma distribuição normal, a amplitude de $6 \sigma_{\text{repe}}$ que representa 99,73% das medidas tomadas deve ser menor que a faixa entre os limites inferiores e superiores de especificação do processo.

Caso a incerteza da medição ocupe uma faixa muito larga entre o LIE e LSE a precisão do sistema não será adequada ao processo e então é preciso buscar um equipamento mais preciso.

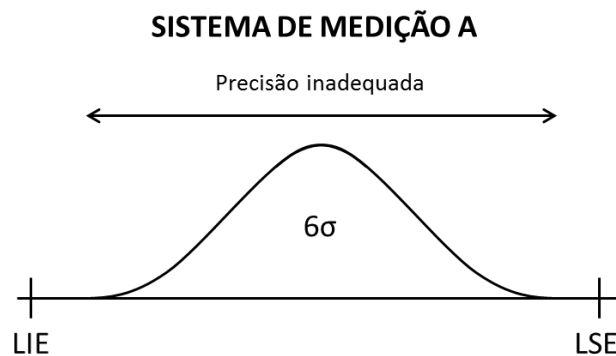


Figura 1 - Representação de um sistema de medição com precisão inadequada.

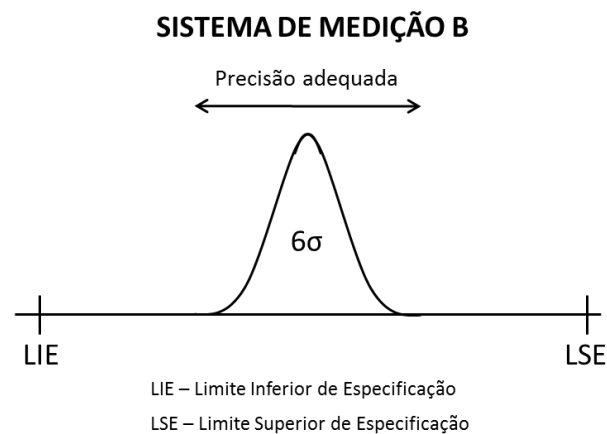


Figura 1 - Representação de um sistema de medição em que a precisão é adequada em relação à faixa dos limites de especificação do processo.

A repetitividade do sistema de medição pode ser obtida a partir da média das das amplitudes das medições (MÁXIMO(medições) – MÍNIMO(medições)) tomadas, medindo-se o mesmo objeto, da seguinte maneira [1]:

$$\sigma_{repe} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

onde d_2 é um fator de correção que pode ser obtido no site: <http://www.portaaction.com.br/content/51-tabela-de-d2> ou no livro de Análise de Sistemas de Medição do IQA [1].

Um sistema de medição pode ser classificado de acordo com o sua percentagem de tolerância da medição da seguinte forma [6]:

- Sistema aceitável: Percentagem de tolerância $\leq 10\%$;
- Sistema marginal: $10\% \leq$ Percentagem de tolerância $\leq 30\%$;
- Sistema inaceitável: Percentagem de tolerância $> 30\%$.

Onde a percentagem de tolerância, PT , pode ser calculada como:

$$PT_{repe} = \frac{6\sigma_{repe}}{LSE - LIE} \times 100$$

Para medições não destrutivas, onde é possível medir mais de uma vez a mesma amostra, o sistema deve ser classificado como ACEITÁVEL. Para sistemas onde a medição é destrutiva (por exemplo, medição de umidade por secagem em estufa), onde não são possíveis múltiplas medições da mesma amostra é possível trabalhar com sistemas que apresentem uma *PT* marginal.

No caso de sistemas de medição destrutivos, os pares de amostras devem ser obtidos de tal maneira que sejam mais idênticos possíveis. Por exemplo, técnicas de homogeneização e divisão aleatória devem ser aplicadas.

Já a exatidão de um sistema traz a informação da proximidade entre as medições obtidas por um sistema com relação ao valor real da característica que está sendo medida [6].

Com esses conceitos estabelecidos foram avaliadas algumas tecnologias, que serão discutidas mais adiante para decidir qual sistema de medição sinaliza ser o mais adequado à aplicação dado os seguintes requisitos:

Tabela 1 - Requisitos da aplicação

Requisitos	
Exatidão	+/- 0,2 p.p.
Frequência	Online
Disponibilidade	Alta
MTBF	Alto
Radioatividade	Inexistente

Comparando as tecnologias disponíveis de medição e alguns requisitos funcionais, foi estabelecida uma prioridade para a avaliação e testes das tecnologias. Essa priorização pode ser vista na matriz da Figura 3.

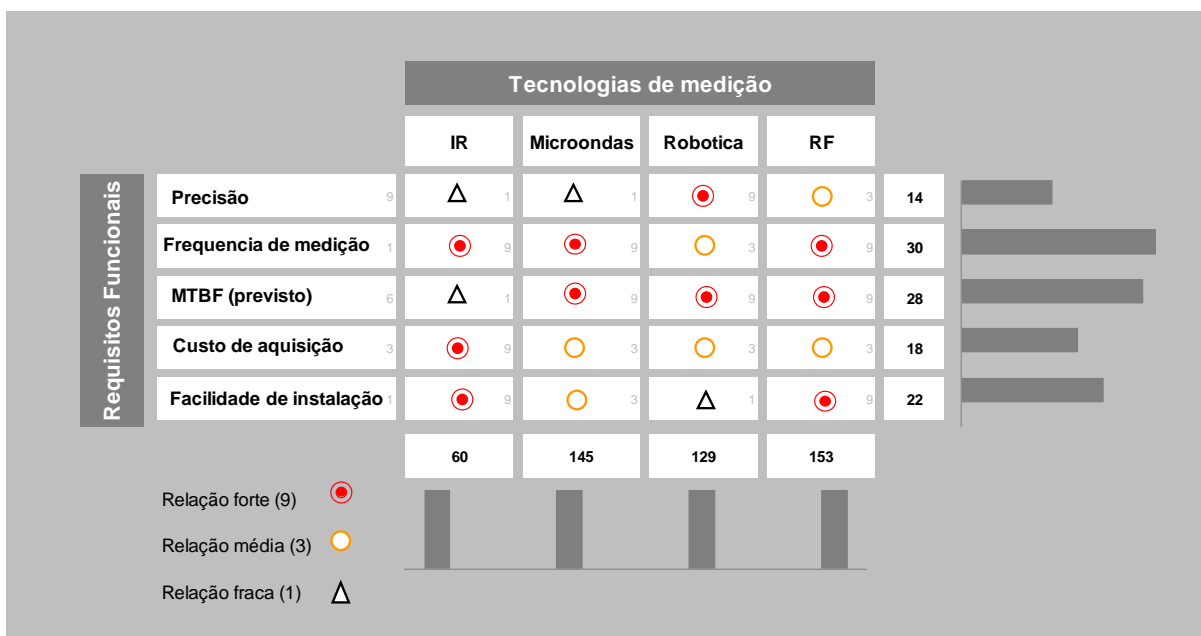


Figura 3 - Matriz de priorização de tecnologias de medição.

2.1 Micro-ondas

O medidor de umidade por micro-ondas funciona com duas antenas sendo uma transmissora e outra receptora. Como a micro-onda é atenuada pela água, toma-se

a diferença entre a intensidade de sinal recebida pela intensidade conhecida de transmissão e determina-se a umidade.

Porém a micro-onda também é atenuada pela altura da camada. Por esse fato, uma medição da altura da camada do material tem que ser realizada em paralelo para que esta informação corrija a umidade calculada pelo instrumento. A densidade do material também influencia na medição.

Um problema deste método é que a imprecisão da medição da camada e/ou da densidade se soma a imprecisão da determinação da umidade pela atenuação da micro-onda.

Outro problema é que as partículas ferro magnéticas, como a magnetita que está presente no minério de ferro, também atenua fortemente a micro-onda. A presença da magnetita em baixa quantidade não impede a medição da umidade, mas a variação do teor cria um problema para a medição precisa.

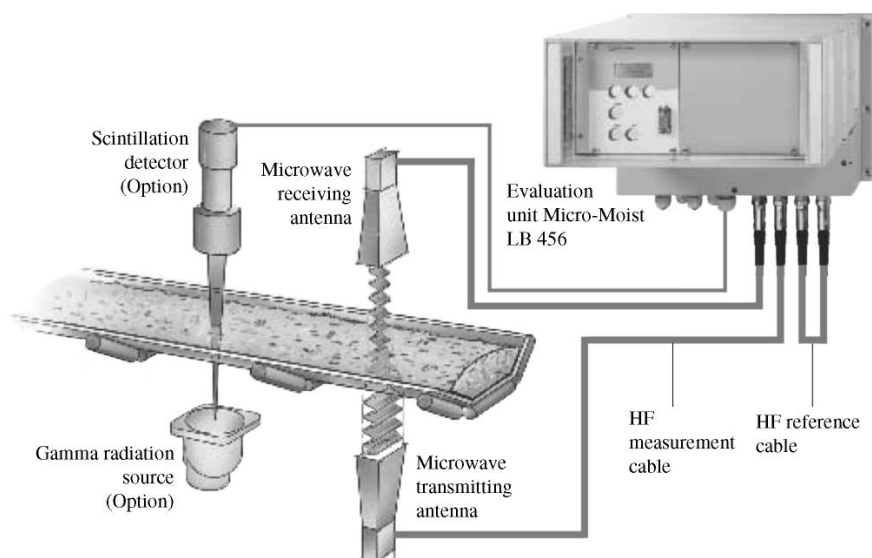


Figura 4 - Sistema de medição de umidade por micro-onda [2].

Conforme bibliografia consultada sobre o assunto além de manuais de equipamentos que utilizam este princípio, a precisão da medição de umidade utilizando um sistema de micro-ondas no melhor caso pode ser de +/- 0,5% de umidade [5].

Para uma faixa de 2% entre os limites de especificação inferior e superior do processo, a percentagem de tolerância é de 50%, ou seja, apenas a repetitividade da medição irá ocupar 50% da faixa de variação do processo. Isso faz com que equipamentos que utilizam este princípio se tornem inviáveis para esta aplicação em particular.

2.2 Infravermelho

A energia da luz infravermelha é seletivamente absorvida pela água. Analisadores por infravermelho quando utilizados para medição de umidade em sólidos não medem os feixes de luz transmitidos através da amostra, mas sim os que são refletidos de volta [5].

O elemento sensor consiste numa fonte de luz, filtros que tratam as ondas de medição e de referência, lentes que direcionam os feixes de luz para a amostra e

coletam a luz refletida, e uma fotocélula para converter a luz refletida em corrente elétrica.

2.2.1 Limitações

Para que seja possível a medição de umidade pelo princípio de infravermelho é necessária uma refletividade mínima para que se produza uma medição útil[5]. Materiais como grafite, carvão, pó de metais e pigmentos inorgânicos são pobres refletores de infravermelho, logo este instrumento apresentará dificuldade em determinar os seus percentuais de umidade.

Além disso, já que as ondas de infravermelho não penetram muito além da superfície da amostra, a medição da umidade irá representar apenas a umidade superficial. Se a superfície não for representativa da média da umidade da amostra, então este sensor também não deve ser utilizado.

Este costuma ser o caso quando a amostra está exposta a atmosfera ambiente.

Outra desvantagem, é que este tipo de instrumento requer calibrações periódicas e constante manutenção em um ambiente com pó em suspensão devido à necessidade de se manter a lente limpa.

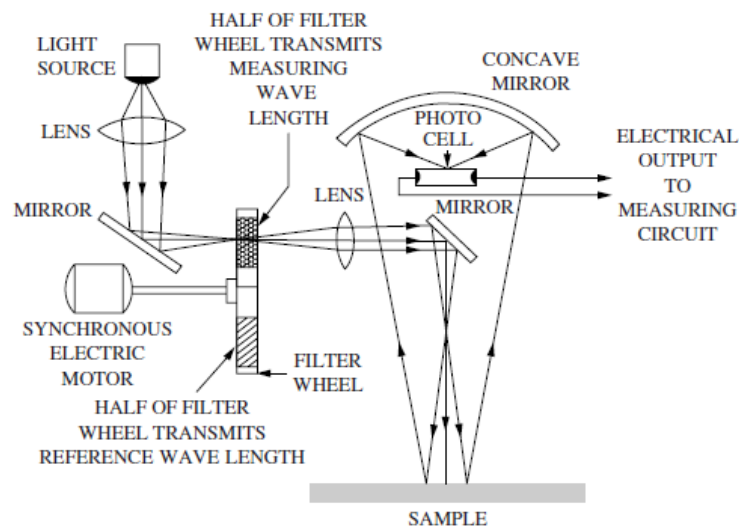


Figura 5 - Esquemático funcional de um medidor de umidade por infravermelho

A tecnologia de infravermelho também já havia sido testada na Samarco pelo menos duas vezes na unidade de Ubu sem apresentar resultados satisfatórios. Porém não possuímos os dados dos testes passados.

Devido principalmente a alta necessidade de manutenção, calibração constante além das más experiências práticas passadas optou-se por descartar esta tecnologia.

2.3 Absorção de Rádio Frequência (RF)

Neste método a medição de umidade é feita utilizando um ressonador aberto, que é colocado num invólucro de aço. A permissividade do meio é medida utilizando ondas de alta frequência e como existe uma correlação direta com a umidade é possível então determinar o seu valor.

* Contribuição técnica ao 18º Seminário de Automação e TI Industrial, 23 a 26 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Segundo a bibliografia consultada [5] o erro apresentado por esse tipo de princípio na medição umidade é inferior a $\pm 0,05\%$ dependendo do material. O tamanho das partículas e densidade dos sólidos devem ser constantes para que se consiga uma medição precisa.

Com a expectativa de se atingir uma percentagem de tolerância de 5% essa tecnologia foi seleccionada para um teste industrial.

Foi seleccionado para o teste um instrumento o qual as especificações do fornecedor prometiam uma precisão de $\pm 0,1\%$ [4] o que ainda atenderia as especificações da aplicação.



Figura 2 - Unidade eletrônica e sensor de umidade [3].

2.3.1 Descrição do teste:

O sensor foi instalado sobre uma correia extratora de silo que recebe o minério de ferro produzido pela da filtragem. O local foi avaliado e aprovado pelo fornecedor. A camada total possuía 40 cm de altura e a correia operava em baixa velocidade.

Foi fabricado um suporte de acordo com o desenho enviado pelo representante do fabricante, porém este foi revestido com PEAD para minimizar o desgaste por abrasão.

Para realizar a calibração do sensor foram coletadas do processo cinco amostras de minério e levadas imediatamente ao laboratório para realizar as determinações de umidade. No mesmo instante que se coletava as cinco amostras anotava-se o número interno de máquina gerado pelo sensor para que então fosse feita a correlação entre o número de máquina e a umidade. A unidade eletrônica é calibrada ao se estabelecer pares de umidade e números de máquina que então são interpolados pelo sistema.

Na Figura 3 a seguir pode-se ver a instalação física do sensor em campo.



Figura 3 - Instalação do sensor para medição de umidade.

Após coletar 5 amostras em 17 momentos distintos, não foi possível iniciar o período de testes, pois não se conseguiu, nem com a presença do fabricante, calibrar o instrumento. Não se encontrou correlação nenhuma entre a umidade do minério de ferro e os números de máquina do medidor.

Os resultados de umidade que podem ser vistos no gráfico são os resultados das médias das cinco amostras que foram coletadas em momentos diferentes. Durante a tentativa de calibração, também foi alterada a altura do sensor com relação à camada de minério, mas, mesmo após a modificação não foram obtidos resultados satisfatórios.

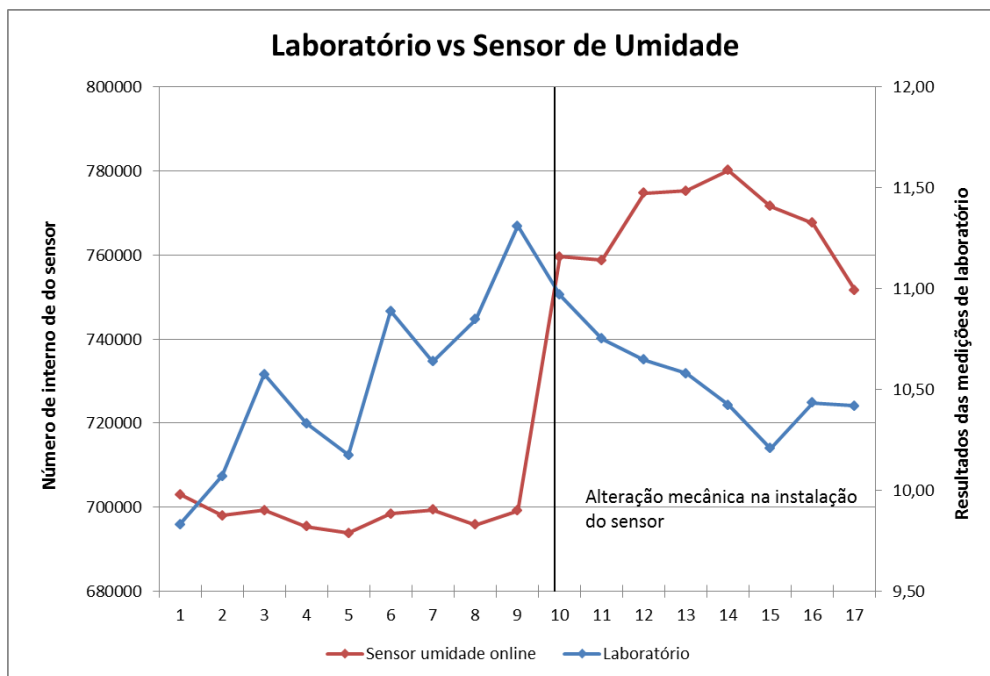


Figura 4 - Dados da tentativa de calibração

Para esta aplicação específica com fino de minério de ferro esta tecnologia de medição não apresentou qualquer correlação dos números de máquina com a umidade. Nem mesmo tendências foram observadas nos testes. O resultado gerado

pelo medidor tinha comportamento completamente aleatório em relação à umidade do minério.

2.4 Sistema Robótico de Medição

Como nenhuma tecnologia de medição online atendeu os requisitos de projeto, optou-se pela próxima alternativa da matriz de priorização que é a medição realizada por um robô.

O local escolhido para a instalação da célula robótica foi o próprio amostrador utilizado para coletar e dividir a amostra retirada do processo. O amostrador, do tipo *cross belt*, fica instalado sobre a correia e corta o fluxo de material transversalmente. O material cai num chute até a pequena correia que pode ser vista na Figura 5.



Figura 5 - Correia do amostrador, chute e divisor rotativo de amostra.

Neste sistema robotizado de medição o robô é responsável por coletar através de um copo amostrador uma quantidade fixa de minério de ferro de dentro do chute de transferência entre a pequena correia de amostra e o divisor rotativo. Esta amostra é então pesada, secada no secador infravermelho e pesada novamente. A leitura da balança, o controle da sequência de movimentos do robô e o acionamento do secador são feitos pelo sistema de supervisão e controle de processos da planta via rede Profibus-DP.

Foi realizado um estudo de leiaute através de uma maquete 3D do local de instalação para determinar qual braço manipulador atenderia a aplicação.

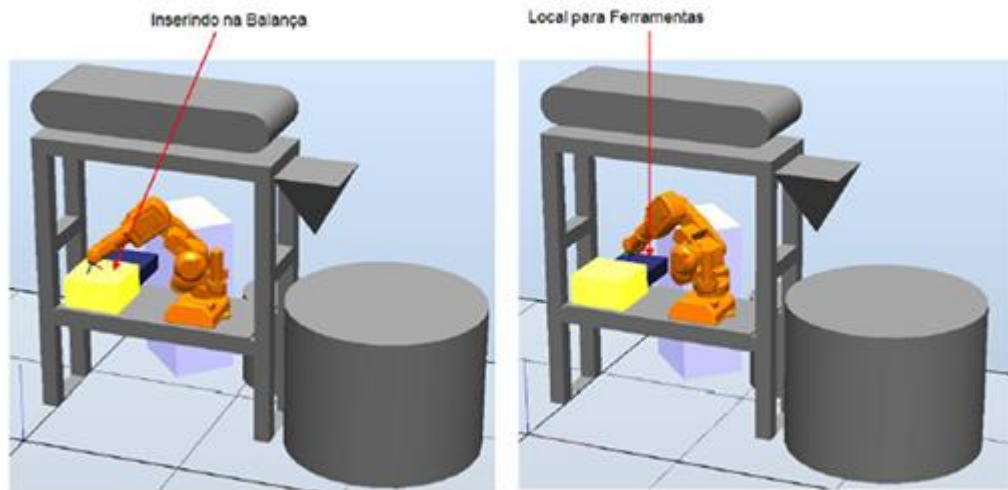


Figura 10 - Estudo de leiaute com maquete 3D

Depois do estudo foi possível determinar o modelo adequado de robô para atender a aplicação proposta.

Para secar a amostra em campo foi escolhido, por ter poucas partes móveis e ser robusto o suficiente para operar em ambiente industrial do chão de fábrica, um secador que utiliza lâmpadas de infravermelho com potência de 6 kW.



Figura 11 - Secador Infravermelho de amostra

Para realizar a pesagem da amostra úmida e seca foi especificada uma balança de precisão com classe de proteção IP67 que pudesse ser instalada na área industrial. A balança possui capacidade de pesagem de 15 kg, precisão de $\pm 0,1g$ e conectividade Profibus-DP.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois da instalação e comissionamento do sistema robótico uma equipe do laboratório realizou coletas de amostras no mesmo instante que o robô coletava uma amostra de minério para análise. O laboratorista coletava as amostras que caíam dentro das cunhas do divisor rotativo. Já o robô coleta a amostra dentro do chute de

* Contribuição técnica ao 18º Seminário de Automação e TI Industrial, 23 a 26 de setembro de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

transferência entre a pequena correia e o divisor. A comparação entre as medições do laboratório e do robô foram feitas desta forma.

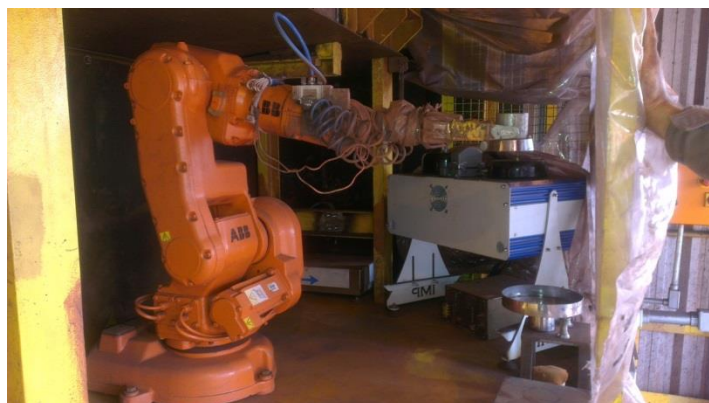


Figura 12 - Instalação em campo do robô

O material coletado no divisor rotativo em campo era levado imediatamente ao laboratório onde era homogeneizado e dividido em três alíquotas que tinham suas umidades determinadas individualmente. A comparação com a medição do robô era feito pela média das três alíquotas.

Além da comparação entre a média das análises laboratoriais e o resultado da medição do robô foi calculado também o intervalo de confiança a partir dos resultados de umidade das três amostras analisadas no laboratório. Como eram gerados poucos resultados foi utilizada a distribuição de t-Student para um intervalo de confiança de 95% de certeza [4].

Tabela 2 - Resultados comparativos entre laboratório e robô

Coleta de Amostras			Análise laboratorial				95% Student			Robô	Erro Abs	Limites Processo		
Nº	Data	hh:mm:ss	1	2	3	Média	Desvio	ICI	ICS	IC	%	p.p.	LIE	LSE
1	22/10/2013	13:30	9,75	9,72	9,76	9,74	0,02	9,69	9,80	0,05	9,813	0,07	9,00	11,00
2	22/10/2013	15:30	10,15	10,25	10,21	10,20	0,05	10,08	10,33	0,13	10,186	0,02	9,00	11,00
3	23/10/2013	09:30	9,72	9,85	9,76	9,78	0,07	9,61	9,94	0,17	9,96	0,18	9,00	11,00
4	23/10/2013	15:30	9,81	9,79	9,73	9,78	0,04	9,67	9,88	0,10	9,67	0,11	9,00	11,00
5	24/10/2013	15:30	9,51	9,50	9,46	9,49	0,03	9,42	9,56	0,07	9,533	0,04	9,00	11,00
6	25/10/2013	13:30	9,70	9,72	9,65	9,69	0,04	9,60	9,78	0,09	9,845	0,16	9,00	11,00
7	29/10/2013	10:30	10,60	10,69	10,58	10,62	0,06	10,48	10,77	0,15	10,69	0,07	9,00	11,00
8	29/10/2013	16:30	10,13	10,12	10,16	10,14	0,02	10,08	10,19	0,05	10,23	0,09	9,00	11,00
9	04/11/2013	07:30	10,51	10,43	10,43	10,46	0,05	10,34	10,57	0,11	10,43	0,03	9,00	11,00
10	04/11/2013	09:30	10,25	10,19	10,25	10,23	0,03	10,14	10,32	0,09	9,992	0,24	9,00	11,00
11	05/11/2013	15:00	10,54	10,58	10,50	10,54	0,04	10,44	10,64	0,10	10,421	0,12	9,00	11,00
12	06/11/2013	09:00	10,82	10,76	10,85	10,81	0,05	10,70	10,92	0,11	10,84	0,03	9,00	11,00
13	19/11/2013	15:30	10,22	10,25	10,30	10,26	0,04	10,16	10,36	0,10	10,32	0,06	9,00	11,00
14	20/11/2013	09:30	10,69	10,65	10,70	10,68	0,03	10,61	10,75	0,07	10,62	0,06	9,00	11,00
15	21/11/2013	13:30	10,48	10,50	10,47	10,48	0,02	10,45	10,52	0,04	10,38	0,10	9,00	11,00
16	22/11/2013	09:00	10,16	10,20	10,15	10,17	0,03	10,10	10,24	0,07	10,233	0,06	9,00	11,00
17	05/12/2013	10:30	10,47	10,51	10,43	10,47	0,04	10,37	10,57	0,10	10,56	0,09	9,00	11,00
18	05/12/2013	13:30	10,52	10,59	10,53	10,55	0,04	10,45	10,64	0,09	10,68	0,13	9,00	11,00
Média										0,09		0,09		

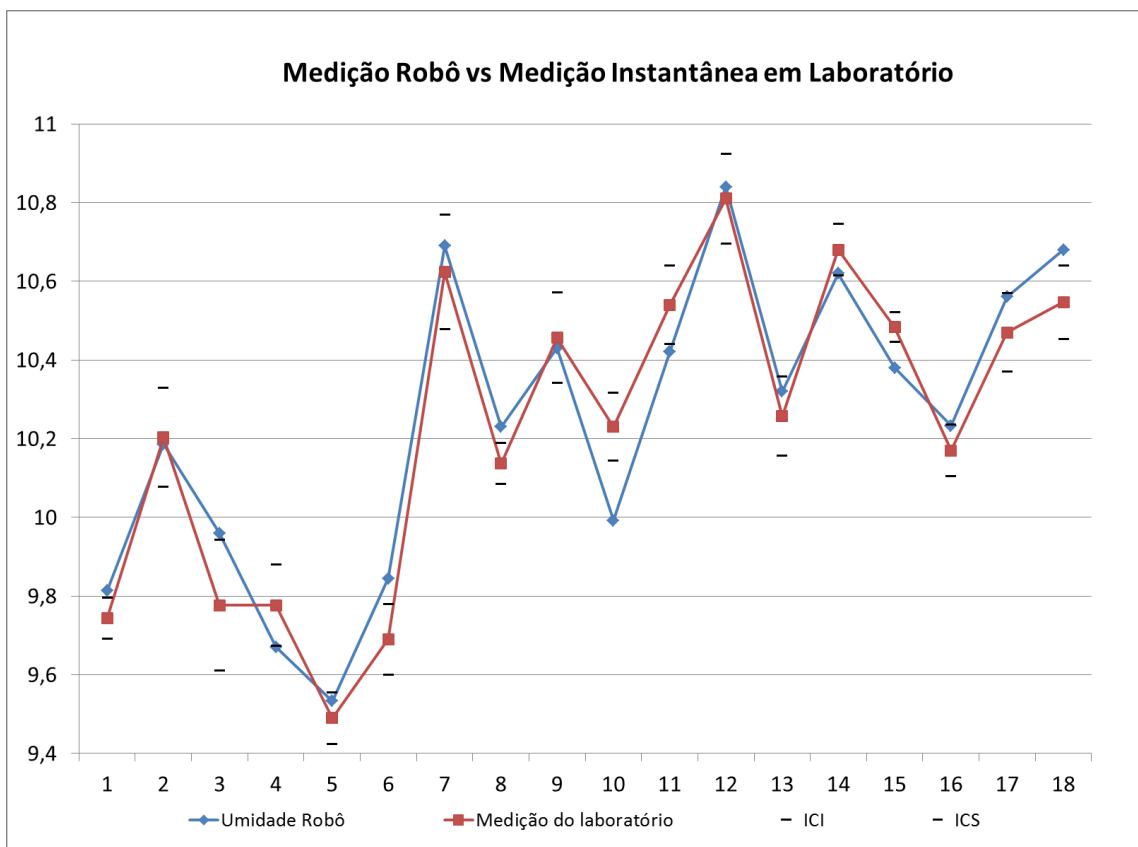


Figura 13 - Comparação entre resultados do robô, média dos resultados laboratoriais e intervalos de confiança.

4 CONCLUSÃO

Conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o principal requisito do projeto foi atendido. A exatidão da medição entregue é 50% melhor do que a exigida e acordada com os clientes.

Neste trabalho foi avaliada a exatidão do robô. A avaliação de precisão demandaria mais testes, uma vez que isso requereria determinar a umidade de n alíquotas de uma mesma amostra. A exatidão foi calculada com base no erro entre a média laboratorial, considerada como referência, e a medição do robô.

Pôde ser visto no gráfico e na tabela que praticamente em todos os pontos a medição do robô ficou dentro do intervalo de confiança de 95% da distribuição de t-Student estabelecidos com base nas medições laboratoriais. Como são ensaios destrutivos as amostras que o robô analisa não são exatamente iguais às amostras que tiveram suas umidades determinadas pelo laboratório. Além disso, para o objetivo da aplicação e tomando como referência o requisito de exatidão estabelecido inicialmente os resultados apresentados são suficientemente exatos para as tomadas de decisão operacionais.

A frequência de amostragem apesar de não ser online atende aos propósitos dos clientes e é quatro vezes mais frequente do que o laboratório consegue entregar.

Tabela 3.

Requisitos	Requerido	Alcançado
Exatidão	0,2 p.p.	0,09 p.p.
Frequência	Online	A cada 30 minutos
Disponibilidade	Alta	Alta

MTBF

Alto

Alto

O trabalho descreveu os desafios e dificuldades em se realizar uma medição de umidade do minério de ferro que seja útil para tomadas de decisão quando a faixa de variação do processo é estreita. Os mesmos instrumentos apresentados nesse artigo talvez possam ter aplicações bem sucedidas em outras condições, como por exemplo, num caso em que a faixa entre os limites inferior e superior de especificação do processo seja maior ou com outro tipo de material.

Agradecimentos

Este trabalho envolveu muitas áreas e pessoas de dentro da empresa para ter sido possível projetar e testar as tecnologias aqui detalhadas. Gostaríamos de registrar o apoio de Alexandre Vallejo e Cleiton Ferreira profissionais da equipe de infraestrutura da automação da Samarco em Ubu. Também foi fundamental o apoio de Leandro Pacheco e Alvimar Correa membros da equipe do laboratório. Agradecemos também a Alysson Werneque, Gerente da Gerência de Engenharia de Processo e Automação, que apostou na ideia desde o início. Agradecemos também a Bruno Fardin, chefe do departamento da Engenharia de Automação, Thiago Marchezi, chefe do departamento da Engenharia de Processo, e Cláudio Dal'Col chefe da equipe de automação que disponibilizou os recursos de sua equipe para o comissionamento e startup da célula robótica.

REFERÊNCIAS

- 1 Análise dos Sistemas de Medição. São Paulo: IQA - Instituto da Qualidade Automotiva; 2004.
- 2 Contactless Measurement of Water Content and Moisture. Folha de dados. Bad Wildbad, Alemanha; 2004.
- 3 HUMY 3000. Muetec Instruments. [acesso em 8 de maio de 2014]. Disponível em: <http://www.muetec-instruments.de/en/measurement-systems/moisture/humy3000/>
- 4 Kubiak TM, Benbow DW. The Certified Six Sigma Black Belt Handbook. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press; 2009.
- 5 Lipták BG, Brodgesell A. Process Measurement and Analysis. Boca Raton London NewYork Washington, D.C.: CRC PRESS; 2003.
- 6 Werkema C. Avaliação de Sistemas de Medição. Belo Horizonte: Werkema Editora; 2006.