

SISTEMAS EMBARCADOS INTELIGENTES PARA AUXÍLIO DE TRANSPORTE DE BAUXITA E CONTROLE DE INCLINAÇÃO DE BALSAS EM MINERADORAS

Janaina M R Medeiros – janainam1894@gmail.com
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Avenida Almirante Barroso
66093-020 – Belém – Pará

Aline P Oliveira – alinepaixao2395@gmail.com

Márcio N A Moscoso – marciomoscoso@gmail.com

Resumo: Atualmente a atividade mineradora exerce grande influência no aspecto socioeconômico brasileiro, especialmente no eixo Norte-Nordeste. Nas mineradoras da região o transporte da bauxita é feito por esteiras transportadoras e em algumas situações as pedras de bauxita apresentam dimensões elevadas e ficam paradas sobre a esteira. Isso acarreta o aumento da corrente do motor da esteira transportadora e atrasa o processo de produção das mineradoras. Além disso, as balsas do processo de lavagem da bauxita carecem de um sistema inteligente de acionamento de bombas para que se possa controlar os níveis de água dos porões das embarcações e por consequência sua inclinação. Neste contexto, este trabalho apresenta uma solução para o processo de transporte e de lavagem de bauxita na mineradora, através de desenvolvimento de sistemas embarcados específicos para os dois problemas apresentados. Os protótipos criados conseguiram atingir os objetivos estabelecidos inicialmente e obtiveram a eficiência esperada. O presente trabalho foi realizado com o apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil.

Palavras-chave: Mineração, Esteira transportadora, Controle de inclinação, Sistema embarcado inteligente.

1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade de grande importância econômica brasileira. A partir dos Grandes Projetos esta atividade teve maior relevância para a economia da região Norte. A bauxita é um dos minérios extraídos na região que têm colocado o Pará em destaque no Brasil e no mundo. Segundo o IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração), até Junho de 2013 o Pará ocupava o segundo lugar em arrecadação da CEFEM (Compensação Financeira pela



Exploração de Recursos Minerais), representando 42% da arrecadação nacional com a bauxita sendo o segundo minério com participação mais expressiva na arrecadação.

Com o advento da tecnologia, a mineração tem sido objeto de estudos direcionados ao aumento da eficiência dos processos de beneficiamento e produção. Institutos como o CETEM (Centro de Tecnologia Mineral), criado em 1978 com o objetivo de promover pesquisas acerca da tecnologia mineral, mostram a tendência criada nas últimas décadas.

No entanto, o processo extração/beneficiamento do minério não é eficiente em sua totalidade. Nas mineradoras da região Norte, o processo de transporte das pedras de bauxita pela esteira que leva o minério para a fase de trituração por vezes acaba sendo interrompido por pedras que ficam presas na esteira transportadora, e impedem a continuidade de seu fluxo, por possuírem dimensões superiores às laterais da esteira.

Alguns trabalhos de pesquisa que visam à automação de esteiras têm como objetivos melhorar os processos das indústrias. Como exemplo, tem-se o trabalho desenvolvido por Rodrigues et al (2012) que define uma esteira transportadora como uma máquina utilizada para transporte de materiais a fim de agilizar a produção. Morelli e Brandão (2009) apresentam um trabalho que tem como objetivo a automação de uma esteira transportadora a fim de realizar o transporte e seleção de lixo tecnológico evitando, assim, o contato direto do homem com este tipo de material. Entretanto, estes trabalhos não atendem a necessidade proposta, que é a identificação e o transporte de pedras de bauxita que atrapalham a produção, o que justifica a importância e necessidade de um sistema como o do presente trabalho.

Outro problema encontrado durante o processo de lavagem da bauxita é referente ao funcionamento incerto das bombas (do tipo sapo) que regulam o nível da água dos porões das balsas. A diferença de nível entre os compartimentos da embarcação, se ultrapassando os limites aceitáveis, pode acarretar no afundamento das mesmas, situação que gera riscos para os funcionários e um possível prejuízo para a empresa.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de sistema embarcado inteligente, integrado a uma esteira transportadora, que através de uma estrutura de sensoriamento/movimentação irá auxiliar a esteira transportadora no transporte das pedras de bauxita do ponto em que estas permanecem paradas até o final da esteira transportadora. Propõe ainda criação de um sistema inteligente de controle de válvulas capaz de detectar a presença de água nas diversas ramificações das tubulações das balsas, acionando ou desligando determinada válvula de modo a fazer o controle e o ajuste da inclinação das embarcações, diminuindo o risco de acidentes.

Após esta breve introdução, são apresentados os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho. Na seção seguinte, são discutidos os resultados obtidos seguidos da conclusão deste artigo. Por último são apresentadas as referências bibliográficas e o abstract.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho relacionado ao transporte da bauxita visa a pesquisa experimental para então o desenvolvimento de uma esteira transportadora capaz de fazer uma detecção de objetos que possuem dimensões superiores às suas e posteriormente execute a ação de transportá-los até o final da esteira, denominada de “chute”.

A primeira etapa do projeto constituiu-se no estudo a respeito de esteiras transportadoras analisando-se principais modelos existentes e assim obtendo conclusões a respeito de

aplicabilidade, eficiência e custo de cada um destes projetos. Esta etapa teve como objetivo identificar as dificuldades que seriam impostas por cada um dos modelos ao desenvolvimento do projeto. Nesse momento do estudo alguns trabalhos foram utilizados como referência.

Para a simulação do sistema de detecção e transporte de objetos desenvolveu-se uma estrutura mecânica composta por uma esteira transportadora, um dispositivo móvel para auxiliar no reconhecimento do tamanho da bauxita e uma haste móvel usada para empurrar a bauxita até o “chute”, sendo essas duas últimas acopladas em uma estrutura comum e movimentadas pelo mesmo motor.

O monitoramento e controle destes dispositivos são realizados através de uma estrutura de hardware e software. A estrutura de hardware é composta por um microcontrolador Arduino, dois motores DC e um motor de passo, um módulo ultrassom e um sensor de corrente. O microcontrolador é responsável pela aquisição e processamento dos sinais dos sensores de corrente e do ultrassom e controle do deslocamento/posicionamento do dispositivo móvel.

No motor DC usado para a movimentação da estrutura de reconhecimento de altura e da haste móvel foi utilizado o CI L293D, para facilitar a configuração da ponte H e consequentemente permitir que o motor se movesse nos dois sentidos. O circuito de acionamento e o motor estão abaixo mostrados na Figura 1.

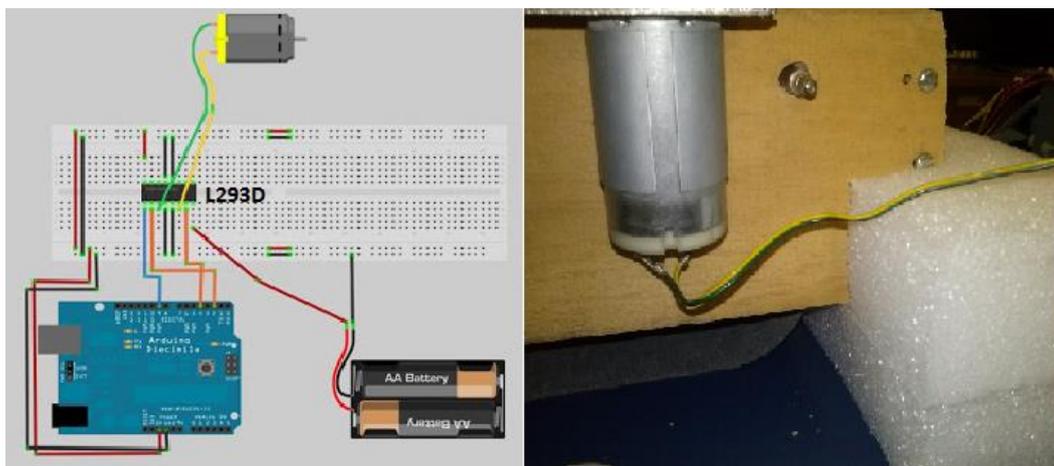


Figura 1 - Motor DC e CI L293D.
Fonte: Adaptado de Arduino.cc.

Nas mineradoras as escavadeiras geralmente inserem as pedras de bauxita, na esteira transportadora, de forma uniforme. Quando uma pedra de bauxita, com dimensão e peso superiores à entrada do “chute”, para sobre a esteira a corrente do motor aumenta devido ao acúmulo da bauxita sobre a esteira. Seguindo este conceito, foram definidos diferentes pesos para realizar os testes com a esteira. Para a realização dos testes montou-se uma estrutura com o microcontrolador, um multímetro, o motor DC, um sensor de corrente e um computador para visualização dos valores amostrados da corrente.

O acionamento do motor de passo é feito pelo circuito ilustrado na Figura 2 que tem como principal componente o CI ULN2004. A Figura 2 mostra ainda a haste móvel acoplada ao motor de passo.

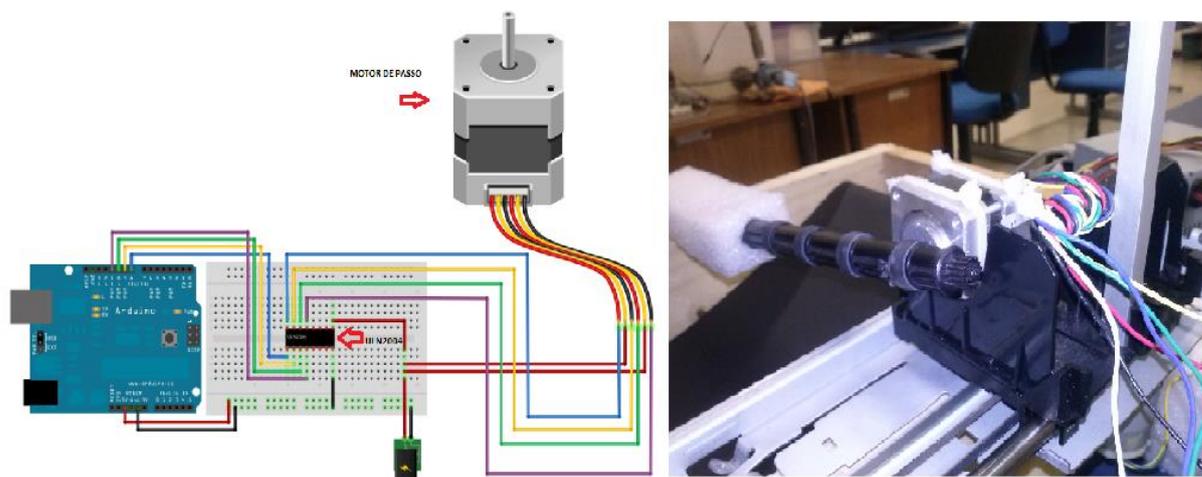


Figura 2 - Circuito de acionamento do motor de passo e estrutura.
Fonte: Adaptado de: Arduino.cc.

O reconhecimento do tamanho da bauxita sobre a esteira é realizado através do módulo ultrassom, que está posicionado na parte superior, conforme Figura 3, da estrutura móvel e tem como parâmetro inicial a sua distância da base da esteira e através desta distância realiza o cálculo para detectar a altura de qualquer material que estiver sobre a esteira e a sua frente.

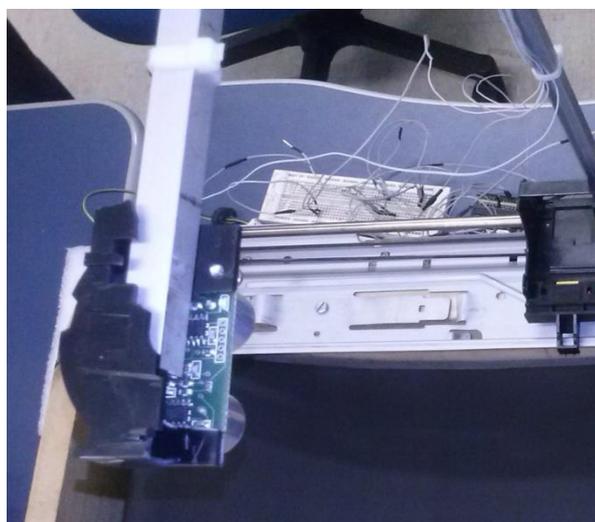


Figura 3 - Estrutura de controle de altura com ultrassom (Vista superior).
Fonte: Própria.

Para controle do comportamento do sistema foi desenvolvido um algoritmo com a linguagem de programação do Arduino. Inicialmente foram criados códigos isolados para o funcionamento de cada parte do hardware. Com o fim dos testes isolados, fez-se a união dos códigos com as devidas alterações e chegou-se ao código final que funciona em etapas. Isto é, inicialmente analisa-se os valores da corrente requeridas pelo motor, se esta estiver alta a

estrutura móvel move-se a fim de obter a altura do objeto, por meio do ultrassom, que passa pela esteira, se esta estiver acima do valor máximo (7 cm), o motor de passo é acionado, a haste é baixada e a estrutura móvel leva este objeto até o final da esteira.

Com relação ao sistema de controle de inclinação, durante a execução deste trabalho, foi construído um protótipo para simular o comportamento das balsas comumente utilizadas nas mineradoras. Para representar os diferentes tanques e suas respectivas bombas, foram utilizadas quatro válvulas solenoides normalmente fechadas de 127 V, que foram conectadas a um duto que recebia um abastecimento constante de água, enviada por uma bomba de 127 V e 50 w. As válvulas controlavam o fluxo de água, enviando-a para um recipiente plástico. Optou-se por construir a estrutura utilizando dois recipientes plásticos diferentes, pois não foi encontrado um recipiente com as características desejadas. A vista superior da estrutura pode ser visualizada na Figura 4.



Figura 4 - Vista superior do protótipo do sistema inteligente de controle de inclinação de balsas.

Conectado ao duto por onde circula a água, entre as válvulas e a bomba, existe um sensor de fluxo de água $\frac{1}{2}$ ". Quando não existe fluxo de água nas tubulações, ou seja, se a bomba não estiver ligada, o sistema de controle de inclinação do protótipo será desligado. No sistema real os fluxômetros serão posicionados nos dutos que conduzem a água entre os tanques. Quando a embarcação estiver parada, ou seja, estável, o sistema de controle que ligará as bombas será desligado.

A ativação das válvulas e a aquisição dos dados dos sensores foi feita através de um microcontrolador Arduino, uma plataforma de prototipagem eletrônica open-source, em conjunto com um circuito condicionador de voltagem, responsável por fazer a interface entre o Arduino (5 V) e o sistema bomba-válvulas (127 V). O circuito condicionador de voltagem é apresentado na Figura 5. Os sensores utilizados foram o fluxômetro, cuja aplicação foi explicada anteriormente, e o acelerômetro, o sensor responsável por medir a inclinação.

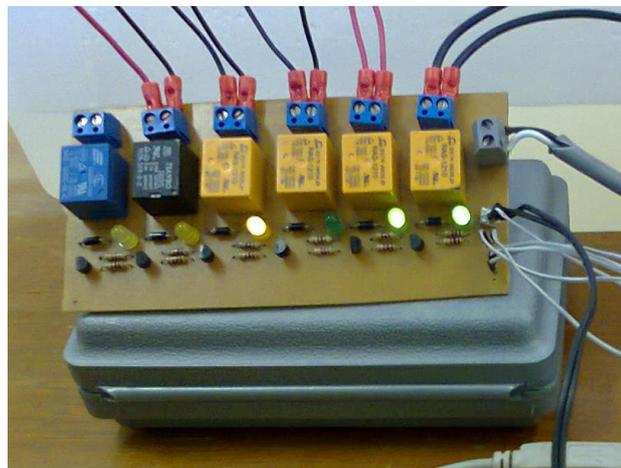


Figura 5 – Circuito condicionador de voltagem.

Para simular o fenômeno da inclinação da balsa e a consequente ativação das válvulas, foi utilizada uma *protoboard*, também chamada matriz de pontos, contendo o acelerômetro. A placa foi associada à posição das válvulas de maneira que o norte da *protoboard* correspondesse ao norte do recipiente plástico, possibilitando a manipulação do protótipo. A inclinação da *protoboard* simula a inclinação da balsa causada pelo excesso de água em um ou mais tanques.

A Figura 6 contém uma representação da *protoboard* em relação ao tanque e um exemplo de quais válvulas seriam ligadas ou desligadas quando a placa estivesse em uma determinada posição. No exemplo, o tanque sudoeste da balsa estaria mais cheio em relação aos outros, causando a inclinação indicada na figura, desta forma o sistema ligaria as válvulas V1, V2 e V3, e desligaria a válvula V4, correspondente ao tanque sudoeste.

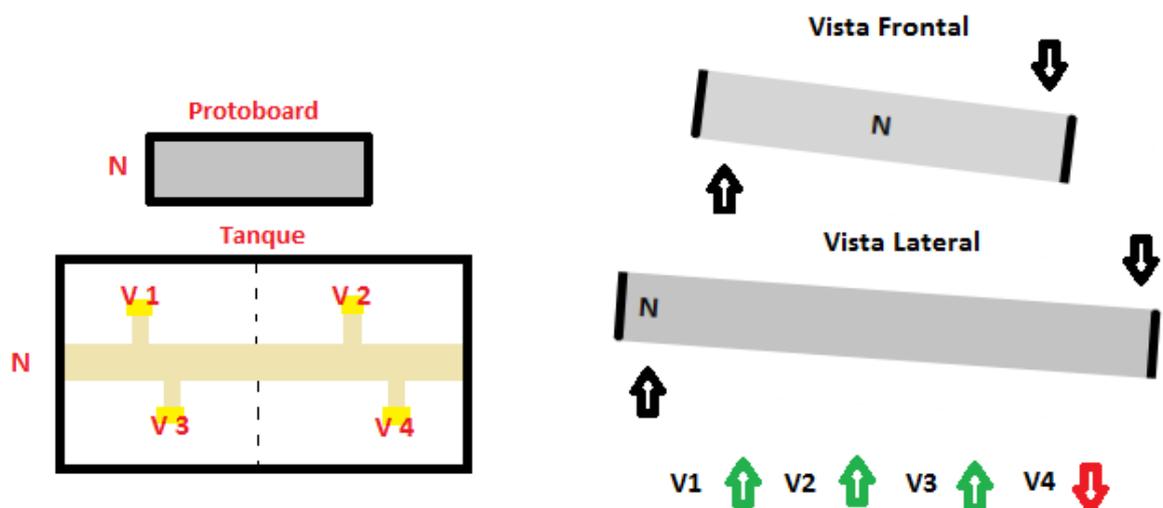


Figura 6 – Esquema de funcionamento do protótipo.

Para que o sistema se comportasse da maneira desejada, foi desenvolvido um algoritmo implementado com a linguagem de programação do Arduino. Suas principais características giram em torno dos dados obtidos pelo fluxômetro e pelo acelerômetro. A partir da leitura dos valores de posição nos dois eixos de rotação da placa, o programa determina quais válvulas devem ser ligadas. Existem nove combinações onde pelo menos uma das válvulas esteja ligada, sendo uma delas a posição inicial, onde todas as válvulas estão ligadas, e as outras oito as posições cardeais e cardinais. A décima combinação possível entre as quatro válvulas ocorre quando não existe fluxo de água no sistema, e as válvulas são todas desligadas.

O circuito condicionador de voltagem teve por finalidade relacionar o sinal de comando, definido pelo software e enviado pelo Arduino (5 V), e o sinal de potência, que atua nas válvulas e na bomba (127 V). A Figura 7 contém uma representação esquemática do circuito condicionador de voltagem utilizado para cada atuador. A placa apresentada na Figura 5 possui seis cópias interligadas do circuito, pois havia sido utilizada para outras finalidades anteriormente, e foi modificada em laboratório para ser utilizada neste projeto. O sinal de comando é enviado na porta 2 do conector J1, localizado no canto inferior esquerdo da figura. Este sinal é amplificado para ativar a bobina do relé R1, no centro da figura. E o sinal de potencia, vindo do terminal de alimentação, é enviado à saída. Quando a bobina é energizada, um LED sinalizador é ativado.

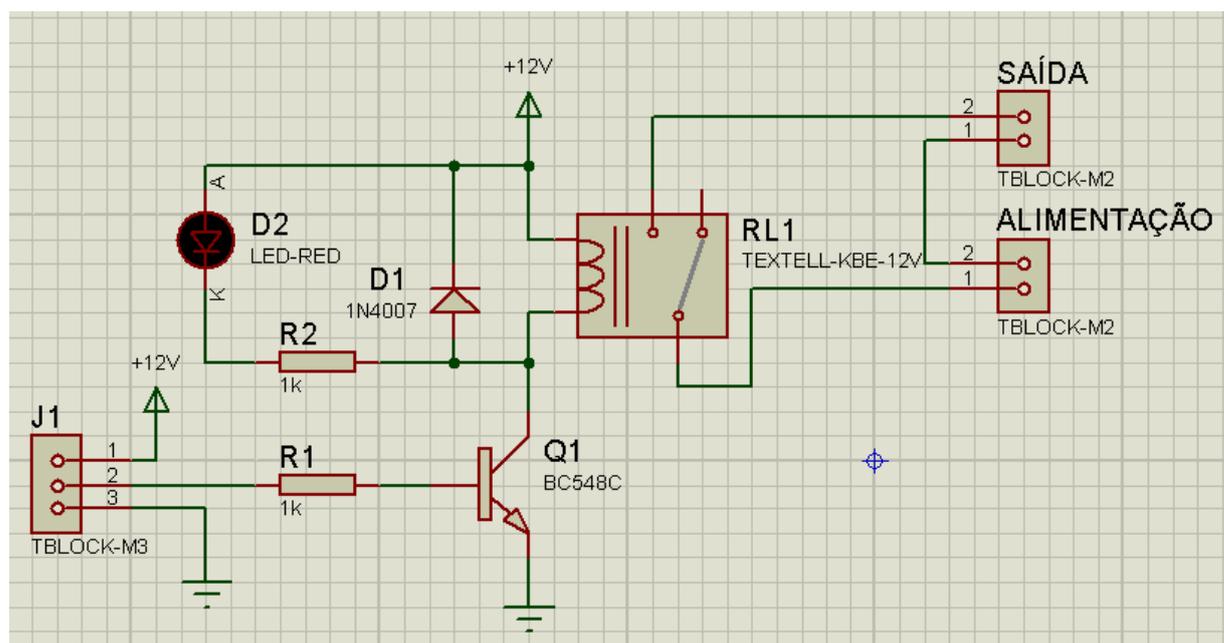


Figura 7 – Modelo de circuito de condicionamento de voltagem para as válvulas e a bomba.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estabelecida a necessidade de controle do aumento da corrente no sistema de transporte o próximo passo foi verificar o funcionamento do sensor de corrente. Essa análise foi feita a partir do aumento ou diminuição do peso dos materiais colocados sobre a esteira, situação que

acarreta variação no valor da corrente. A leitura dos dados pelo sensor de corrente apresentou erros inicialmente, mas após a percepção e concerto das falhas que se encontravam no algoritmo de controle o sensor conseguiu ler e enviar os valores da corrente com eficiência.

Posteriormente buscou-se avaliar o funcionamento do dispositivo móvel para auxílio do reconhecimento do tamanho da bauxita bem como da haste móvel usada para empurrar a bauxita até o “chute”. Para tal foram feitos testes com materiais de tamanhos diferentes colocados sobre a esteira e com o módulo ultrassom em diversas posições. O módulo ultrassom não detectava perfeitamente quando era colocado muito próximo ou muito distante da base da esteira, mas a partir de testes estabeleceu-se a faixa de distâncias em que o ultrassom deveria estar da base para detectar a altura dos objetos corretamente: $101 \text{ cm} \leq \text{altura} \leq 21 \text{ cm}$.

Ao fim da definição de estruturas e seus devidos posicionamentos, realizou-se a montagem da estrutura e, posteriormente, sua sintonização com o algoritmo controlador. A estrutura final da esteira transportadora, pode ser observada na Figura 8.

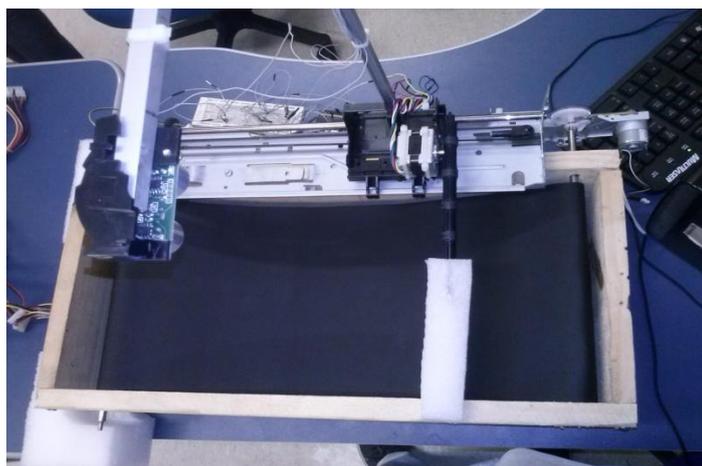


Figura 8- Esteira completa.

Fonte: Própria.

No sistema de controle de inclinação primeiramente outros possíveis métodos de ajuste de inclinação foram testados, com a utilização de potenciômetros, por exemplo. No entanto, no decorrer do projeto viu-se a necessidade de desenvolver um sistema inteligente, capaz de se corrigir automaticamente. Desta forma, foram estudadas as possibilidades de utilização de sensores como barômetro e giroscópio, todos ineficientes em algum aspecto para solucionar o problema proposto.

A solução encontrada foi utilizar um acelerômetro, com ele foi possível obter os valores de inclinação em dois eixos. Os dados obtidos pelo sensor foram verificados com o apoio de um software e a partir deles foram descobertas faixas de valores que correspondiam a diferentes posições de inclinação do protótipo. Tais faixas foram utilizadas para o desenvolvimento da versão final do software, cujos princípios lógicos estão descritos na seção anterior.

Visando a economia de energia, começou a ser testado também um sensor de fluxo. A leitura do sensor revelou que quando apenas uma das válvulas solenoides está aberta (inclinado para uma das extremidades da balsa) a vazão no fluxômetro fica em torno de

1,2l/min, e quando duas válvulas solenoides estão abertas a vazão passa para 1,9l/min. Quando a leitura é zero, não existe vazão, portanto o sistema está estável, o que representa que a balsa está parada e a avaliação de inclinação não deve continuar funcionando. Quando a balsa for religada, o sistema volta a funcionar. A versão final pode ser visualizada na Figura 9.

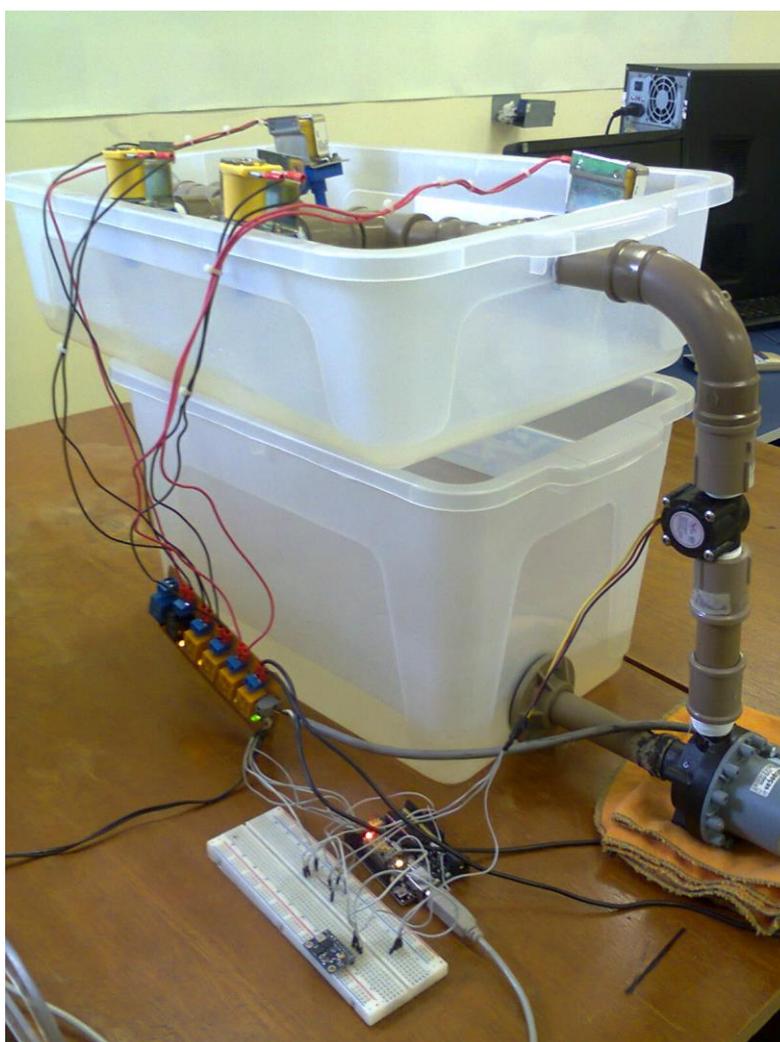


Figura 9 – Protótipo desenvolvido em laboratório.

4. CONCLUSÃO

O crescimento do setor mineral na região Norte e no país atrai um crescente investimento na pesquisa e aplicação de novas tecnologias que aprimorem seus processos e lhes aumentem os lucros no setor. Nessa perspectiva, as empresas buscam estabelecer parcerias com pesquisadores e/ou instituições de ensino que estimulem o estudo e produção de projetos que atendam as suas necessidades, beneficiando a empresa e aprimorando o conhecimento do pessoal envolvido.

Neste artigo é apresentado o desenvolvido do projeto e a construção de uma esteira transportadora que controla o transporte de pedras de bauxita de tamanho elevado, bem como



de um sistema de controle de inclinação de balsas no processo de lavagem de bauxita, ambos a partir de sistemas embarcados inteligentes.

Os sistemas de hardware e software apresentaram bons resultados. Os algoritmos elaborados em linguagem de programação do Arduino possibilitaram um controle eficaz do dispositivo móvel para auxiliar no reconhecimento do tamanho da bauxita, da haste móvel usada para empurrar a bauxita até o “chute”; e das válvulas para controle de inclinação .

Com a conclusão do projeto aperfeiçoa-se o conhecimento nas áreas de eletrônica, mecânica e controle. Contribuindo-se assim, para a formação e qualificação dos pesquisadores envolvidos.

Pretende-se dar continuidade ao projeto desenvolvendo-se um software supervisor que permita a interação entre o operador responsável e o sistema de modo prático e seguro, e então apresentá-lo aos engenheiros de projetos da Mineração Rio do Norte (MRN), umas das principais empresas produtoras de bens minerais no Pará, de acordo com o IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração), situada no oeste do Pará, e viabilizar a implementação dos sistemas propostos neste artigo.

Agradecimentos

Agradecemos nosso professor-orientador, Márcio Moscoso, pelo auxílio teórico e prático e ao CNPq que apoiou a realização deste projeto .

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANALOG DEVICES. **ACS712, Sensor de corrente datasheet**. Disponível em: <<http://lojabrasilrobotics.blogspot.com.br/2011/12/sensor-de-corrente-30a-r7500.html>> Acesso em: 30 jul. 2013.

ANALOG DEVICES. **ADXL345 Digital Accelerometer datasheet**. Disponível em: <<http://www.analog.com/static/importedfiles/datasheets/ADXL345.pdf>> Acesso em: 29 jul. 2013.

ARDUINO TEAM. **Arduino**. Disponível em: <www.arduino.cc/en/> Acesso em: 04 maio 2013

IBRAM. **Informações sobre a economia mineral no estado do Pará**, 2013. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00003788.pdf>> Acesso em: 02 ago. 2013.

Morelli, R. V., Brandão, D.; UNIVERSIDADE DE SÃO CARLOS, Escola de Engenharia de São Carlos. **Controle e Automação de Esteira Transportadora.**, 2009.

RODRIGUES, R.A.B., MEDEIROS, J., BITTENCOURT, A. Desenvolvimento de uma esteira transportadora didática. Anais: VII - Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação: IFBA, 2012.

WEG. INDÚSTRIAS S.A.- MÁQUINAS. **DT-3 Características e especificações de motores de corrente contínua e conversores CA/CC**. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-curso-dt-3-caracteristicas-e-especificacoes-de->



[motores-de-corrente-continua-conversores-ca-cc-artigo-tecnico-portugues-br.pdf](#)> Acesso em: 05 jun. 2013.

EMBEDDED SMART SYSTEMS OF SUPPORT OF BAUXITE'S TRANSPORTATION AND VESSEL'S INCLINATION CONTROL AT MINING COMPANIES

Abstract: Nowadays the mining activity exercises great influence over the Brazilian socioeconomic aspect, especially over the north-northeast axis. At the mining companies in the region the bauxite's transportation is made by carrier treadmills and sometimes it happens to occur of a bauxite rock to have higher measures than the treadmill and get stuck over it. This situation causes the treadmill electric current's increase, delaying the production process. Besides, the Vessels of the bauxite washing processes need a smart system of pumps activation for having control of the water level on the Vessels' basements, and therefore, their inclinations. In this context, this article shows a proposal for the transport and washing processes of bauxite on the mining, through the developing of embedded systems for the two shown problems. The prototypes achieved the initial goals and the expected efficiency. The following study was made with the CNPq's (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil) support.

Key-words: Mining, Treadmill transportator, Inclination control, Embedded system