



## PROTÓTIPO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO A PIVÔ CENTRAL POR ASPERSÃO PARA CONTROLE DA VELOCIDADE DAS TORRES MÓVEIS

Antônio de Melo M. Medeiros<sup>\*1</sup>, Carlos Leite de Camargo Junior<sup>1</sup>, Genésio Osmani Maggi Filho<sup>1</sup>, Bruno Quirino de Oliveira <sup>1</sup>, Luís Fernando Pagotti<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Escola Politécnica – Pontifícia Católica de Goiás

**Resumo** - A otimização da utilização de recursos hídricos tem alavancado os processos na geração de alimentos. Um sistema de irrigação deve possibilitar o manejo eficiente da lâmina de água aplicada. Para tal, é necessário a movimentação correta nos sistemas de irrigação a pivô central. Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema de automação para pivôs centrais de irrigação, com a finalidade de otimizar sua utilização no processo de movimentação dos componentes móveis do sistema, tornando possível sua movimentação linear, melhorando assim a aplicação da lâmina de água e otimizando a utilização deste recurso. A realização do protótipo de Pivô Central com sistema de controle em malha aberta nos motores das torres em laboratório possibilitou a análise da movimentação e estudo do alinhamento das mesmas.

**Palavras-Chave** - lâmina de água, malha aberta, movimentação linear, pivô central, sistema de controle, uniformidade de distribuição.

### PROTOTYPE OF CENTRAL PIVOT SPRINKLER IRRIGATION SYSTEMS TO CONTROL THE SPEED OF MOBILE TOWERS

**Abstract** – The optimization of the use of water resources has leveraged the processes in the generation of food. An irrigation system must enable efficient management of the applied water depth. For this, it is necessary to move correctly in the center pivot irrigation systems. The objective of this work was to develop an automation system for irrigation center pivots, in order to optimize its use in the process of moving the system's moving components, making its linear movement possible, thus improving the application of the water depth and optimizing the use of this resource. The realization of the Central Pivot prototype with an open loop control system in the towers' motors in the laboratory made it possible to analyze the movement and study their alignment.

\*amarcosmedeiros@gmail.com

**Keywords** - water slide, linear movement, central pivot, control system, open loop, distribution uniformity.

### I. INTRODUÇÃO

A irrigação é utilizada desde as antigas civilizações. Os assírios, caldeus e babilônicos já utilizavam a técnica na Ásia em 4.500 a.C. [1]. A escassez de água é um problema mundial, diversos fatores contribuem para essa situação, pois, apesar de a maior parte do planeta ser constituído por água 70%, 97% dessa água é imprópria para o consumo [2]. Além disso, há uma preocupação com o consumo elevado, visto que a produção agrícola exige uma grande quantidade de água para o cultivo e desenvolvimento de lavouras. Portanto, há uma busca constante para que a produção agrícola continue se desenvolvendo, e de forma mais eficaz e sustentável, com menor utilização de recursos hídricos e redução do impacto ambiental. O Brasil, é um país eminentemente agrícola, sendo um dos maiores produtores de grãos do mundo, tendo conseguido aumentar seus índices de produção nos últimos anos através do aprimoramento dos seus métodos produtivos. A irrigação é predominantemente nas regiões sul, sudeste e centro-oeste. Apesar do país possuir 31% de sua área terrestre cultivável, apenas 4,4% dessa área é equipada para irrigação. É importante destacar a importância do controle da água. São diversas as situações em que ela é utilizada, como por exemplo produção de energia elétrica, abastecimento de casas e indústrias, consumo humano, uso medicinal, lazer e irrigação [3][4]. Devido ao crescimento populacional, cada vez mais é necessário a economia da água. Além disso, a maior parte da população mundial depende de produtos obtidos através da irrigação [3]. Na busca por melhores índices de produtividades envolve também melhoria dos processos de produção de alimentos e otimização dos recursos humanos e hídricos [5]. Para o estudo optou-se por desenvolver um sistema de automação de irrigação, com o objetivo de controle da aplicação de água a través da movimentação das torres, observando-se a relação custo benefício para que o sistema possa se tornar viável.

Contudo, devido ao elevado custo de implementação de um sistema de irrigação a pivô central, optou-se por desenvolvimento de um modelo em escala reduzida para que

possa viabilizar sua construção para análise e estudo do mecanismo de movimentação. Uma vez que o modelo esteja desenvolvido, os conceitos e resultados obtidos poderão ser extrapolados para o desenvolvimento do sistema em escala real.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O estudo de referência bibliográficas possibilitou a compreensão do sistema de irrigação e a realização do protótipo. A irrigação é uma técnica em que se fornece água artificialmente ao solo, com o objetivo de suprir as necessidades hídricas da região e tornar o solo adequado para a cultura [6][7]. O uso da irrigação não é limitado apenas à agricultura, podendo também ser utilizado em jardinagem e em gramados esportivos. Há Sistemas de Irrigação com características funcionais desenvolvidas para contextos diferentes de culturas, terrenos e disponibilidade de água conforme tabela 1 [8][11] [13].

Tabela 1: Tipo de irrigação [13]

Tipos de irrigação	Características
Aspersão convencional	Bico aspersor, sistema mecânico pulverizando o jato de água molhando uma área circular pequena na superfície do terreno.
Microaspersão	Varição do gotejamento, possui uma eficiência maior que a aspersão convencional e com vazão melhor que o gotejamento, conhecida também como irrigação localizada.
Gotejamento	Irrigação sob pressão por tubos, tubos com furos, molhando diretamente a zona da raiz da planta, necessidade de bombeamento, alta eficiência.
Sulco	Irrigação por superfície canis de armazenamento de água irrigando através de sifonagem manual, terreno necessita de uma pequena inclinação. Sistema de baixa eficiência.

### A. Irrigação a Pivô Central

É um dos principais sistemas empregado na irrigação é o sistema por aspersão convencional, dentro deste sistema destaca-se o do tipo pivô central, que consistem em uma base conectada a uma adutora, peça central, com várias torres moveis articuladas que prende a tubulação aérea denominada linha central, conectando os aspersores que são os responsáveis pela irrigação, deste modo e permitida a rotação em torno do seu eixo central, formando uma área irrigada de forma circular conforme figura 1 [14].

Figura 1: Sistema de pivô central [14].

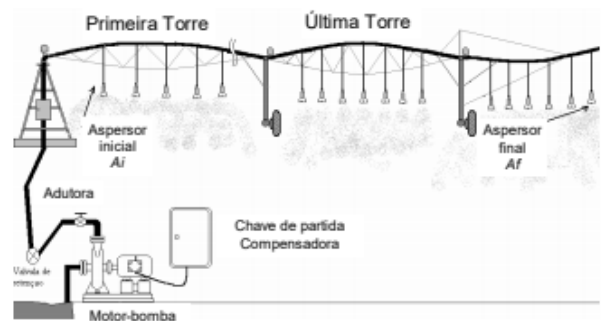


A conexão da base com a torre e feita por anel coletor permitindo o eixo girar livremente, antes temos um relé fim de curso para ser executado algumas manobras, na conexão das torres temos uma base ligada a dois motores elétricos, um motor redutor responsável pela movimentação e outro motor redutor de roda.

A captação de água pode ser feita através de bombas de água retirando de fontes naturais como rios, lagos, ou artificiais como poços, represas e reservatórios. Por ser o tipo mais utilizado em irrigação no Brasil, este sistema vem resultando em problemas de abastecimento de água em algumas regiões do país, em muitos casos causando racionamento.

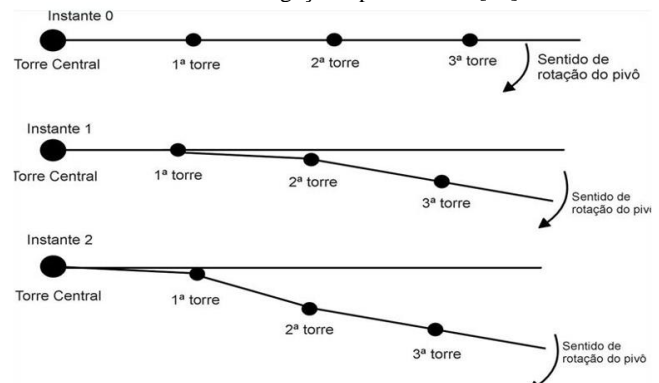
A figura 2 mostra o sistema de captação onde o conjunto moto bomba que retira a água do reservatório e levando através de uma adutora subterrânea ao centro do pivô que por sua vez distribui por via área aos aspersores localizados nas torres moveis distribuído a água para a plantação. A vazão da bomba cria uma lâmina d'água que é determinada pela velocidade da movimentação do pivô.

Figura 2: Sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central [5]



Parte da perda de água é devido a movimentação não uniforme que o pivô tem, o que pode acarretar a diminuição da eficiência de aplicação de água no sistema, na figura 3 mostras a movimentação do pivô central, onde podemos observar que a movimentação e feita por seções de torres provocando o desalinhamento.

Figura 3: Esquema ilustrativo do sistema de movimentação do Sistema de irrigação a pivô central [15]



Quando um pivô se move, ele é liderado pela Última Unidade de Acionamento Regular (Torre 3). Unidade de Acionamento Regular (Torre 3) se move até que o braço da

chave acione (chave final de curso), conectando o último vão à penúltima torre (torre 2), seja puxado para um ângulo que ativa a próxima torre (torre 2). Ambas as torres então se movem até que a próxima torre seja ativada (torre 1), e isso continua pelo pivô até que todas as torres tenham se movido. À medida que os vãos externos se movem, a haste de controle gira a placa de came em direção ao microinterruptor de execução. À medida que a torre interna alcança a torre externa, a placa de came gira na direção oposta até que o microinterruptor de operação seja aberto parando a torre. Este processo é repetido à medida que a máquina caminha pelo campo.

O modelo tradicional, com suas torres articuladas conforme mostrado na figura 2 tem seu funcionamento comandado através do painel de controle localizado no centro. O painel de controle onde se localiza a parte de comando da máquina do pivô central. Esses painéis de controle são considerados o 'cérebro' da máquina, onde controlam a partida, parada, mudança de direção, a lâmina de água aplica. O painel de controle do pivô opera as principais funções da máquina. Dependendo de qual painel de controle o pivô possui, os controles serão diferentes, mas a maneira como o pivô opera é a mesma. [9].

### B. Movimento Circular Uniforme

O movimento circular uniforme (MCU) é quando uma força centrípeta perpendicular é aplicada em um corpo movendo com velocidade constante [16]. Analisando o processo de um sistema de irrigação a pivô central, nota-se que os conceitos físicos básicos de movimento circular uniforme regem o movimento das torres e aspersores do pivô central.

Podemos observar a relação entre a velocidade linear (v) e a velocidade angular (ω) conforme figura 4, é dada pela equação 1.

$$v = \omega \cdot R \quad (1)$$

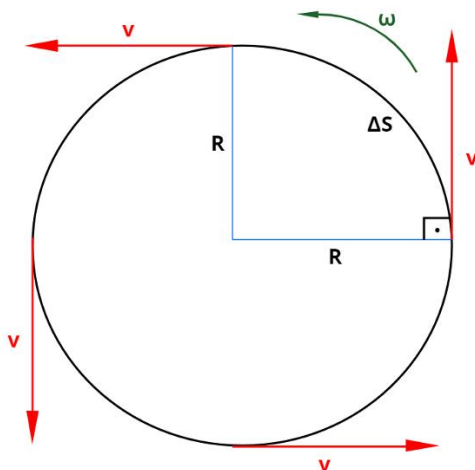
onde:

v - velocidade linear (m/s).

ω - velocidade angular (rd/s).

R -raio da circunferência (m).

Figura 4: Relação entre a velocidade linear (v) e velocidade angular (ω) e o raio (R) [16].



Considerando que o deslocamento em torno da circunferência é de um ângulo de  $2\pi$  radianos e lembrando que o tempo necessário para darmos uma volta completa na circunferência é denominado período (T), teremos a seguinte relação, conforme equação 2:

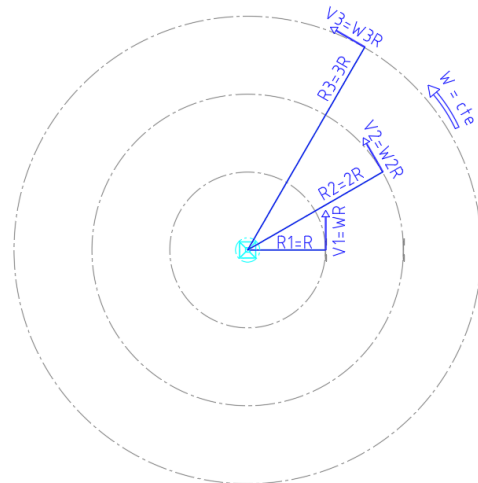
$$\omega = 2\pi/T \quad (2)$$

Outra relação importante a ser considerada é que o número de voltas em um dado período é denominado frequência (f) sendo medida em hertz (1 hz = 1/s).

Analisando e comparando o sistema de irrigação a pivô central com as relações do movimento circular, concluímos que uma vez que o pivô central se desloca com velocidade angular (ω) constante, a velocidade linear (v) varia com o raio (R). Conclui-se que apesar da velocidade angular (ω) ser constante, a velocidade linear (v) das torres mais afastadas serão maiores que as das torres mais próximas devido à variação no raio (R).

Podemos observar através da figura 5 que a velocidade angular ω é constante para todos os trechos, contudo a velocidade linear de cada ponto extremo é diferente, sendo definida pelo raio do ponto.

Figura 5: Equação entre a velocidade linear (v) e velocidade angular (ω). [Fonte: própria]



Logo, de acordo com a equação 3, 4 e 5:

$$V1 = \omega \cdot R \quad (3)$$

$$V2 = \omega \cdot (2R) = 2 \omega R = 2 \cdot V1 \quad (4)$$

$$V3 = \omega \cdot (3 \cdot R) = 3 \omega R = 3 \cdot V1 \quad (5)$$

Portanto, devemos observar que devido a esta diferença de velocidade a vazão de água para a irrigação deve possuir alguma forma de controle, evitando que determinados trechos recebam mais água e outros menos.

### III. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Para o controle da movimentação dos seus braços que compõem suas torres desenvolveu um sistema de automação para pivô central de irrigação, construiu um protótipo do pivô central com microcontrolador Arduino, fazendo leitura da

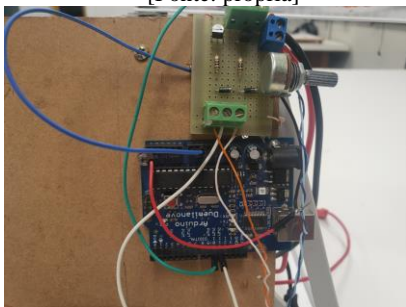
entrada analógica e controlando a velocidade com Modulação por Largura de Pulso PWM [10].

Para controlar o sistema utilizou o Arduino Duemilanove ("2009"), que é um kit de desenvolvimento com o microcontrolador baseada no Atmega168 ou Atmega328, que possui 14 pinos de entrada / saída digitais (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um oscilador de cristal de 16 MHz.

### A. Placa Controladora dos Motores de Corrente Contínua

A função principal da placa figura 6 é comunicar com o Arduino através de uma entrada analógica e receber o sinal PWM [12] passando este sinal aos motores fazendo com que eles movimentem de forma linear com o ângulo constante mais com a velocidade diferente mantendo uma linearidade. Para sua confecção utilizou uma placa perfurada dupla face, um potenciômetro com resistência elétrica ajustável com três terminais atuando como um divisor de tensão para o controle da velocidade dos motores. Utilizou dois diodos que permitiu a passagem de corrente elétrica em um só sentido evitando a corrente de reversão nos transistores, utilizado duas resistências na base dos transistores para a polarização dos mesmo como chave. Foram utilizados dois transistores NPN (BJC) para comandar os dois motores DC 3V-6V para movimentação das duas torres feita de alumínio.

Figura 6: Placa controladora montado na estrutura. [Fonte: própria]



### B. Motor DC com Engrenagem Reduzida

Para o desenvolvimento do sistema móvel do projeto utilizou um motor de corrente contínua comum figura 7.

Figura 7: Motor DC 3V – 6V [Fonte: Própria]



O conjunto contém caixa de redução e eixo duplo, é utilizado em desenvolvimentos de projetos de robótica. O motor funciona com tensão de operação 3 a 6 V, a caixa de engrenagem tem redução: 1:48, corrente sem carga do motor é de 200 mA (6 V) e 150 mA (3 V), velocidade sem carga de 200 rpm (6 V) e 90 rpm (3 V). As rodas tem diâmetro 68 mm, largura 26 mm, furo central 5,3mm x 3,66 mm (semicírculo) e peso 50g.

### C. Montagem do Protótipo

O esboço para a montagem do protótipo em escala reduzida do sistema automatizado de irrigação está demonstrado nas figuras 8, 9, 10. Para este propósito construiu uma torre em formato piramidal em estrutura de alumínio e as partes móveis, em estrutura de alumínio, onde serão fixados os motores DC, responsáveis pela movimentação do sistema.

Durante o processo de montagem do protótipo observou-se a necessidade de ajustes nas dimensões dos componentes, devido a condições físicas de montagem, peso reduzido dos equipamentos, interferência entre as partes mecânicas da estrutura com os componentes elétricos e eletrônicos a serem utilizados. Após todas as análises preliminares chegamos as dimensões iniciais do protótipo conforme apresentado nas figuras 8, 9 e 10, que nos permitiram dar andamento na implementação do projeto de automação do sistema.

Figura 8: Detalhe do protótipo de automação do sistema de irrigação visto em planta. [Fonte: própria]

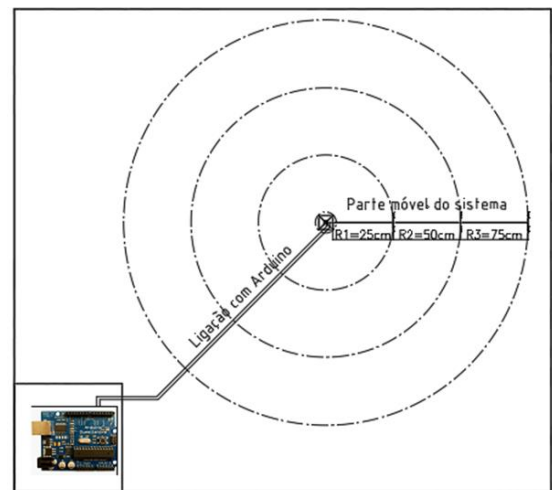


Figura 9: Detalhe do protótipo de irrigação em vista. [Fonte: própria]

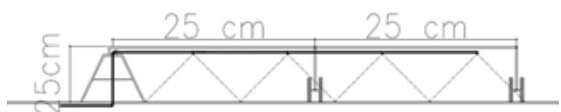
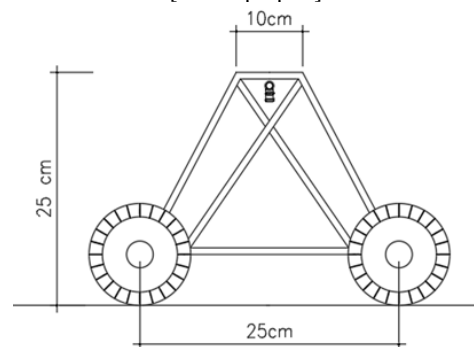


Figura 10: Detalhe do protótipo do sistema móvel em vista. [Fonte: própria]



A figura 11 apresenta os testes iniciais do protótipo após as correções nas dimensões para solucionar os problemas encontrados no processo de montagem inicial. Teve-se que aumentar a distância da parte móvel à parte fixa, para que tivéssemos a força necessária para se colocar o conjunto em movimento fosse reduzida, de maneira que permitisse os motores DC conseguissem movimentar o conjunto.

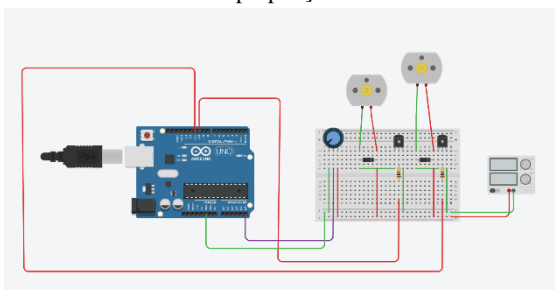
A figura 11 apresenta os testes para a montagem dos dois conjuntos de partes móveis acoplados e articulados. A partir deste protótipo montado, passou-se para a implementação do sistema de automação da velocidade do protótipo.

Figura 11. Detalhe da montagem do protótipo. [Fonte: própria]



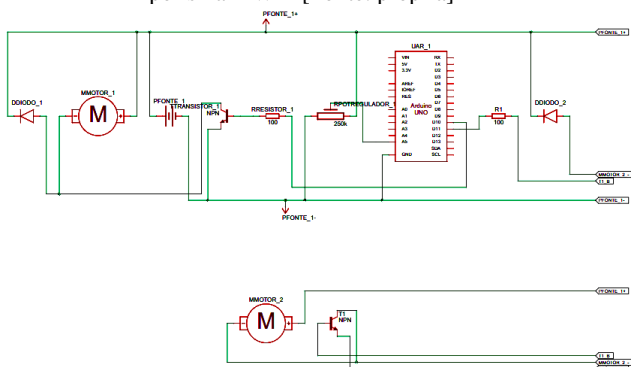
O desenvolvimento das placas fora realizado com o auxílio do software tinkercad, conforme mostrado na figura 12, pelo endereço <https://www.tinkercad.com/>.

Figura 12: Esquema montagem do software tinkercad [Fonte: própria]



A figura 13 demonstra o projeto pela vista esquemática, contendo todos os componentes eletrônicos utilizados.

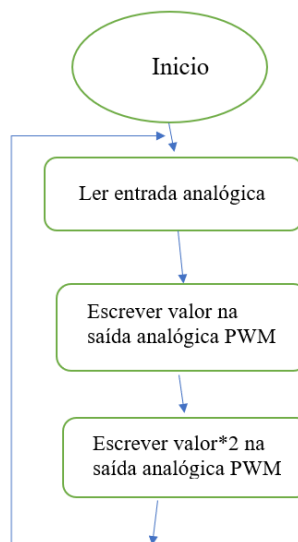
Figura 13: Vista esquemática do projeto de controle dos motores por sinal PWM [Fonte: própria]



#### D. Código Fonte Implementado no Arduino

O código fonte implementado na plataforma IDE do Arduino, em linguagem C++ desenvolvida para controle dos motores do protótipo. Na figura 14 é mostrado o fluxograma do código fonte que aciona as torres 1 e dois do protótipo.

Figura 14: Fluxograma do código fonte. [Fonte: própria]



#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No desenvolvimento do experimento foram necessárias algumas adaptações para o seu devido funcionamento, na parte da movimentação das torres junto a base é necessário o uso do anel coletor para interligar os motores a caixa de comando, no experimento o fio que conecta o motor passando pela torre até a base estava enrolando com o giro do pivô, para resolver o problema substituii o parafuso comum por um parafuso vazado com rosca tornando a movimentação possível conforme a figura 15.

Figura 15: Detalhe da montagem do protótipo – Parte fixa com parafuso oco com rosca externa. [Fonte: própria]



Toda estrutura é feita em alumínio conforme figura 16, necessitando de um peso para melhorar a movimentação, tendo em vista o piso muito liso e com falhas as rodas não tracionava, com o uso do potenciômetro é possível o controle da velocidade juntamente com o tempo total para se realizar uma volta completa.

Figura 16: Detalhe do protótipo do sistema móvel implementado em vista. [Fonte: própria]



Durante os testes observou-se que na movimentação ocorreu um pequeno desalinhamento do sistema por se tratar de um controle de malha aberta. Embora o foco do trabalho é o movimento sincronizado dos motores em malha aberta, é possível em estudos futuros o desenvolvimento de sensores para alinhamento automaticamente em caso de atolamento de uma das rodas sistema em malha fechada, tração independente das rodas, implementação de bico aspersor com controle por válvula solenoide para o controle de vazão além da velocidade de movimentação, a comunicação direta e integrada com outros equipamentos de monitoramento tendo resultados mais precisos do sistema.

## V. CONCLUSÃO

Com o protótipo montado pode-se observar o seu funcionamento na movimentação circular em laboratório, o qual observou-se o movimento sincronizado dos motores das torres indicando que a equação utilizada no software funcionou adequadamente em malha aberta. Durante os testes a velocidades da torre aumentar e diminuir através do controle PWM, atuando no potenciômetro da entrada analógica do Arduino, havia as vezes um desalinhamento das torres provocada pela falta de tração dos motores, como sugestão para trabalhos futuros a colocação de sensores de posicionamentos que possam ser utilizados com um sistema de malha fechada com sensor de ângulo, para a correção em caso de desalinhamento das torres.

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. G. Neto, História e Evolução da Irrigação, Este volume: Semiárido: problemas e soluções caminham lado a lado. / [organização de] Urbano da Costa Lins. Bimestral. (broch.). Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades / Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco – v. 13, n. 13 (set. / out. 2017). – Recife: CREA-PE, 2017- v. ISSN 2526-2556
- [2] C. W. Fetter, Applied Hydrogeology. 4th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2001.
- [3] J. E. F. W. Lima, R. S. A. Ferreira, Christofidis, D. O, Uso da irrigação no Brasil. In: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas; ANEEL; OMM; SRH/MMA. (Org.). O Estado das Águas no Brasil - 1999: Perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos. 1ªed., 1999, v., p. 73-82.
- [4] Milton Hênio. A importância da água. Gazeta de Alagoas, p.1, 2015.
- [5] A. M. M. Medeiros, Otimização de sistema de irrigação por aspersão pivô central. 2010. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.
- [6] D. Marchetti, Irrigação por Pivô Central, EMBRAPA-ATA, Circular técnica 1. DF, Brasília. 1983, 23p.
- [7] G. A. Biscaro, Sistemas de irrigação por aspersão. Dourados, MS: Editora da UFGD, 2009. 134p. ISBN 978-85-61228-35-4
- [8] Santos, Clemilson Costa dos. Plataforma de controle sem fio para irrigação de precisão. 2013. 178 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2013.
- [9] L. A. A. Vilela, Metodologia para dimensionamento de um sistema de pulverização acoplável a pivô central. 2002. 127 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- [10] M. H. RASHID, Eletrônica de potência: dispositivos, circuitos e aplicações. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2014.
- [11] D. Santos, “Vantagens e desvantagens dos principais tipos de irrigação”. Agrosmart cultivado inteligente. 2016, Disponível em: <<https://agrosmart.com.br/blog/vantagens-tipos-de-irrigacao/>>, Acesso em: 21 de maio de 2020.
- [12] M. McRoberts, Arduino básico Michael, tradução Rafael Zanolli, São Paulo: Novatec Editora, 2011.
- [13] S. Bernado, A. A. Soares, E. C. Mantovani, Manual de irrigação. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- [14] A. M. M. Medeiros, Potencial de Economia de Energia Elétrica em Sistemas de Irrigação a Pivô Central com Uso de Inversor de Frequência no Estado de Goiás, Dissertação de Mestrado, Coordenação Pós-Graduação da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, 2005.
- [15] R. Essi, Caracterização Físico - Hídricas das Áreas Irrigadas por Pivô Central no Município de Manoel Viana, RS. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IF Farroupilha) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Alegrete, RS, Brasil. 2016
- [16] R. RESNICK, D. HALLIDAY, J. WALKER, Fundamentos de física I. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.