

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Gabriel Castilhos Mânica

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

**PROJETO DE UM SISTEMA DE CONTROLE REMOTO PARA MÁQUINAS DE
GUINDAUTO**

Porto Alegre

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

SISTEMA DE CONTROLE REMOTO PARA MÁQUINAS DE GUINDAUTO

Projeto de Diplomação apresentado ao
Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ronaldo Husemann

Porto Alegre

2022

GABRIEL CASTILHOS MÂNICA

SISTEMA DE CONTROLE REMOTO PARA MÁQUINAS DE GUINDAUTO

Projeto de Diplomação apresentado ao
Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

Prof. Dr. Ronaldo Husemann

ORIENTADOR – UFRGS

Prof. Dr. Roberto Petry Homrich

Chefe do Departamento de Engenharia Elétrica (DELET) - UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Fernando Ferreira

UFRGS

Prof. Dr. Tiago Roberto Balen

UFRGS

AGRADECIMENTOS

Ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela excelência de ensino público e de qualidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ronaldo Husemann, pela dedicação, ensinamentos e pela orientação no desenvolvimento dessa pesquisa e ao longo da caminhada de pesquisador durante a graduação.

Aos meus pais, Andréa e Clairton, pelo incentivo incansável à educação, por todos os princípios formadores de quem sou e por serem uma base forte que me permitiu chegar nesse momento.

À minha namorada, Nathália, pelo suporte diário nessa jornada, por ser uma fortaleza de apoio emocional, pela paciência e, principalmente, pela revisão do trabalho.

À minha família, como um todo, por ser minha forte fonte de apoio, acolhimento e amor durante toda a caminhada não só acadêmica, mas como de vida.

Aos meus amigos, por serem fonte de diversão e descontração nos momentos de dificuldade e por sempre acreditarem em mim ao longo dessa jornada.

À empresa *Load Control*, pela oportunidade de conhecimento e prática, bem como o suporte para realização desse trabalho, incluindo o desenvolvimento e testes dos equipamentos.

RESUMO

A Norma Brasileira NR12 regulamenta equipamentos de guindar para elevação de pessoas e realização de trabalho em altura em cesta aérea, cestos acoplados e suspensos. Tendo em vista as mudanças ocorridas no anexo XII da NR12, verifica-se a necessidade de adequar produtos antigos de forma a atender estes requisitos de segurança, bem como às padronizações exigidas pela norma. O objetivo desse trabalho é de apresentar um sistema embarcado que controle e limite os movimentos do guindaste e dos estabilizadores com base nos sensores envolvidos que atenda às mudanças recentes na NBR12 anexo XII. O projeto envolve o estudo das leis e diretrizes nacionais e internacionais de operações e simulações em software de circuitos de validação. Foram desenvolvidos protótipos de transmissores e receptores, além de periféricos e módulos opcionais, todos expostos a testes em bancada e em campo. O resultado esperado é a produção de um protótipo que satisfaça o anexo XII da NR12 e que seja facilmente adaptado aos RACs específicos.

Palavras-chave: NR12, guindaste, limitador de carga, controle remoto

ABSTRACT

The Brazilian Standard NR12 regulates crane equipment for aerial work, with both coupled and suspended baskets. Because of recent changes made in Annex XII of the NR12, there is a need to adapt old products to meet newer safety requirements and other premisses of the standard. The objective of this work is to present a embedded system that controls and limits the movements of the crane and the stabilizers based on data collected with sensors installed throughout the machinery. The project involves the study of national and international laws and guidelines for operations and simulations in circuit validation software. Prototypes of transmitters and receivers were developed, in addition to peripherals and optional modules, all exposed to bench and field tests. The expected result is the production of a prototype that meets the requirements of the Annex XII of NR12 and is easily adapted to specific RACs.

Keywords: NR12, crane, load limiter, remote control

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Guindaste	12
Figura 2 – Comando eletro-hidráulico	13
Figura 3 – Sinal típico de um PWM.....	13
Figura 4 – Gráfico da vazão de óleo pelo sinal exercido nos comandos PV.....	15
Figura 5 – Guindaste com cesto aéreo acoplado.....	16
Figura 6 – Gráfico ou tabela de carga.....	16
Figura 7 – Fluxograma simplificado dos bloqueios do rádio controle.....	18
Figura 8 – Visão geral da instalação de um limitador de carga com rádio controle.....	19
Figura 9 – O limite mecânico da estrutura e o limite de estabilidade do conjunto do guindaste.....	21
Figura 10 – Diagrama de blocos do circuito do radio controle, receptor e transmissor.....	23
Figura 11 – Esquemático simplificado do circuito de saída.....	24
Figura 12 – Placa superior da central receptora.....	25
Figura 13 – Placa inferior da central receptora.....	26
Figura 14 – <i>Layout</i> segmentado do transmissor.....	27
Figura 15 – Placa do transmissor.....	28
Figura 16 – Circuito integrador padrão para avanço ou recuo.....	29
Figura 17 – Circuito de subtração do recuo e soma do avanço com o sinal de referência	29
Figura 18 – Circuito de comparação de sinal de entrada e acionamento da alimentação da bobina	29
Figura 19 – Gráfico de comparação das baterias de NiCd e de lítio.....	35
Figura 20 – Sinal após a integração com duty cycle de 8%.....	36
Figura 21 – Sinal após a integração com duty cycle de 80%.....	37
Figura 22 – Protótipo do modulo PVE montado em fenolite.....	37
Figura 23 – Teste em osciloscópio usando um sinal PWM de amplitude de 5V e 20% de duty cycle.....	38
Figura 24 – Teste em osciloscópio usando um sinal PWM de amplitude de 5V e 80% de duty cycle.....	38
Figura 25 – Teste realizado em um guindaste com comando PVE.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
2.1 Sinal PWM	13
2.2 Comandos PVE	14
2.3 Ferramentas.....	15
2.4 Indicador de carga segura	17
2.5 Rádio controle.....	18
2.6 Periféricos	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
4 PROJETO	23
4.1 Circuitos eletrônicos de proteção.....	24
4.1.1 Circuito de entrada	24
4.1.2 Circuito de saída da central	24
4.2 Circuitos eletrônicos de acionamento e controle.....	26
4.2.1 Circuito transmissor.....	27
4.2.2 Módulo para acionamento PVE.....	28
4.3 Firmware.....	30
4.3.1 Sistema homem-morto.....	30
4.3.2 Limite de carga.....	31
4.3.3 Calibração e ativação/desativação dos joysticks.....	32
5 VALIDAÇÃO	35
5.1 Baterias.....	35
5.2 Circuito de saída.....	35
5.3 Limitador de carga.....	36
5.4 Módulo PVE.....	36
5.5 Sistema homem-morto.....	40
5.6 Calibração em software dos joysticks.....	40
6 CONCLUSÃO	41
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO

Acidentes com guindastes são considerados raros, entretanto geralmente são de altíssima gravidade, podendo ocasionar a morte de dezenas de pessoas e um dano material significativo (INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, 1995). Para diminuir ainda mais o risco e a gravidade dos acidentes com guindaste, o Ministério do Trabalho publicou, em dezembro de 2011, o Anexo XII – Equipamentos de Guindar para Elevação de Pessoas e realização de trabalho em altura na Norma Regulamentadora nº12 – Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos (ABNT, 2015).

Segundo (FUNDACENTRO, 2021) e (REDAÇÃO PE, 2021), entre 2011 e 2013 ocorreram, no Brasil, 221.843 acidentes com máquinas e equipamentos, ocasionando 601 mortes, com 0,27% dos acidentes levando a óbitos. Desses, 287 acidentes foram relacionados a guindastes articulados, que ocasionaram 18 mortes, gerando uma média de 6,27% dos acidentes ocasionando óbitos.

Conforme Qiu e Yang (2012), existem diversos equipamentos eletrônicos distintos que ajudam a evitar acidentes. Entre eles, está o limitador de carga, que monitora o momento de carga (torque) aplicado ao guindaste e a inclinação da carroceria em relação ao nível do horizonte, obrigando o operador do guindaste a trabalhar dentro das faixas de carga segura fornecidas pelo fabricante do guindaste. Quando o guindaste não possui esse equipamento, corre o risco de o operador submeter o guindaste a momentos de carga excessivos, podendo provocar danos estruturais permanentes ao guindaste ou o tombamento do guindaste, causando alto risco aos operadores e demais envolvidos.

Outro equipamento muito importante para evitar acidente, é o controle remoto (CHANDRAN, 2012), ele possibilita que o operador possa controlar o guindaste de qualquer lugar, podendo sempre se posicionar em um lugar de excelente visão da operação, sem estar em risco. O que não ocorre quando o guindaste não possui essa função, com o operador muitas vezes tendo a visão obstruída, até mesmo pelo próprio guindaste, sendo necessário a ajuda de outro operador, dando instruções da posição da carga, para a realização da operação

O anexo XII da Norma Brasileira NR12 exige requisitos mínimos aos equipamentos de guindar para elevação de pessoas e realização de trabalho em altura em cesta aérea, cestos acoplados e suspensos. Alguns desses requisitos só podem ser alcançados por meio de sensores e dos equipamentos eletrônicos citados acima, entre esses requisitos estão: permitir o controle do guindaste remotamente e acoplado ao cesto; controles inferiores dotados de um meio de prevalecer sobre o controle superior de movimentação da caçamba; sistema que impeça a

operação das sapatas estabilizadoras sem o prévio recolhimento do braço móvel para uma posição segura de transporte; dispositivo ou sistema de segurança que impeça a atuação inadvertida dos controles superiores, por meio de um sistema homem-morto; sistema limitador de momento de carga que, quando alcançado o limite do momento de carga, emita um alerta visual e sonoro automaticamente e impeça o movimento de cargas acima da capacidade máxima do guindaste, bem como bloqueie as funções que aumentem o momento de carga (SOUZA, 2019).

Além de diversas normas legais para variadas operações, são exigidas também as adequações aos Requisitos de Atividades Críticas (RACs), que são exigências feitas por uma empresa contratante. Um exemplo de RACs são os sobre extração de minério utilizados pela empresa Vale S.A., mostrando a necessidade de um sistema facilmente adaptável.

Para o caso da Vale, os guindastes devem se adequar as RACs 01, 03 e 05, que abrangem respectivamente, trabalho em altura, equipamentos moveis e içamentos de carga (Vale S.A., 2019)

Tendo em vista as mudanças ocorridas no anexo XII da NR12, principalmente visões mais exigentes quanto a movimentos involuntários, verifica-se a necessidade de um produto que atenda aos requisitos de segurança e às padronizações exigidos pela norma.

O sistema foi avaliado a partir de testes, sendo feito simulações e testes em bancada com protótipo. Sendo feito sempre que possível e necessário, pelo menos um teste em um guindaste.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Um sistema de guindaste é formado por um braço articulado e sistemas de estabilizadores (patolas) movimentados por pistões hidráulicos.

Figura 1 - Guindaste



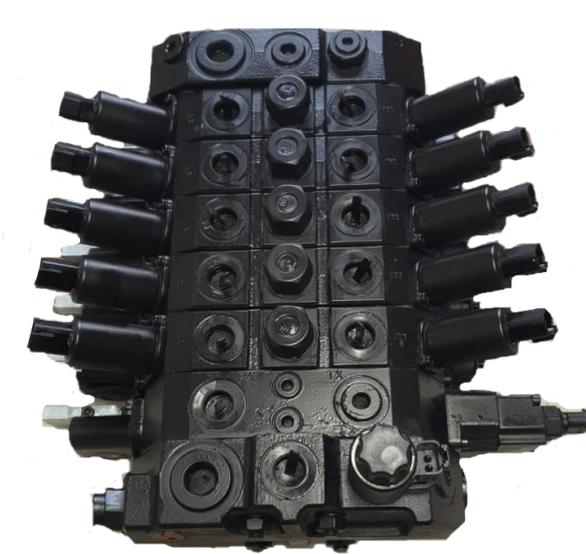
Fonte: Própria

As patolas são responsáveis por manter o guindaste nivelado, estabilizado e evitar que o peso extra da carga erguida pelo guindaste prejudique o sistema de amortecimento do caminhão, o sistema de estabilizadores geralmente é formado por duas ou quatro patolas. Elas só devem ser movimentadas quando o braço articulado estiver em posições seguras, como em berço ou transporte.

O braço articulado é geralmente formado por um comando eletro-hidráulico de seis funções que realizam os movimentos do guindaste de giro, elevação, inclinação e três funções para as aberturas das lanças, possibilitando a movimentação tridimensional do guindaste.

O comando eletro-hidráulico consiste em diversas válvulas que podem ser acionadas manualmente, ou eletricamente, por meio de uma central eletrônica, comandada remotamente via rádio, geralmente por sinais de PWM. Cada segmento do comando possui duas entradas, que controlam sentidos diferentes do mesmo movimento.

Figura 2 – Comando eletro-hidráulico

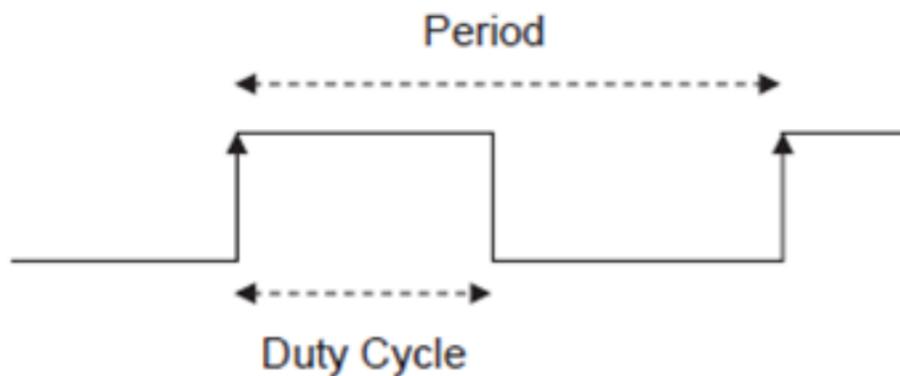


Fonte: Própria

2.1 Sinal PWM

Segundo Ibrahim (2011, p. 89) uma saída PWM é basicamente uma forma de onda quadrada com um período e ciclo de trabalho especificados, ou seja, um ciclo de sinal PWM é dividido em um intervalo desligado e outro ligado, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Sinal típico de um PWM



Fonte: Ibrahim (2011, p. 89).

Conforme Pomilio (2014) a tensão média de saída depende da relação entre o intervalo em que a chave permanece fechada e o período de chaveamento. Assim, para determinarmos a tensão média temos:

$$V_{med} = V_{DD} \frac{T_{on}}{T_{PWM}} \quad (1)$$

Em que T_{on} é o tempo que o sinal PWM está em nível lógico alto e T_{PWM} é o período do PWM, V_{med} é a tensão média obtida e V_{DD} é tensão máxima fornecida.

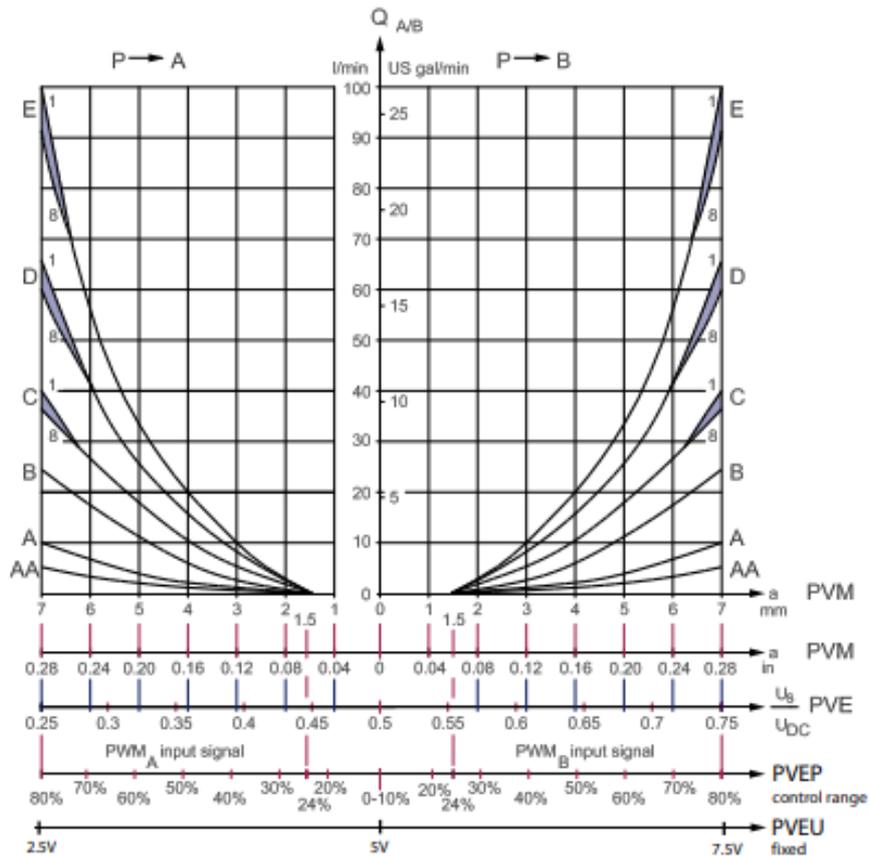
2.2 Comandos PVE

Comando do tipo PVE (*Proportional Valve - Electro-hydraulic Actuator*), é um comando dotado de válvulas proporcionais dotadas de uma atuação eletro-hidráulica, é usados em equipamentos de guindar com maior capacidade de carga, por possuírem uma maior vazão, reduzindo o aquecimento gerado pela utilização de bombas hidráulicas maiores. Entretanto, esses comandos são acionados proporcionalmente por um sinal de tensão, e não por um sinal PWM.

Diferente dos demais comandos eletro-hidráulicos, que possuem duas entradas para controlar os dois sentidos dos movimentos do guindaste, os comandos PVE, possuem apenas uma entrada, que recebem uma alimentação de potência (U_{DC}), um sinal constante (U_S) e uma referência de GND.

A movimentação de cada válvula é feita comparando os valores do sinal constante e a alimentação de potência, quando o sinal está entre 45% e 55% do valor da alimentação, a válvula do comando fica na posição neutra, quando está entre 25% a 45% está realizando um movimento, e entre 55% e 75% está realizando o movimento para o outro sentido, sendo as razões de 25% e 75% os valores máximos de abertura da válvula, exercendo a máxima velocidade do sistema. Como demonstrado na figura 4.

Figura 4 – Gráfico da vazão de óleo pelo sinal exercido nos comandos PV



Manual da Danfoss de comandos PVG, 2014

2.3 Ferramentas

Na ponta do braço articulado podem haver ferramentas, como cesto aéreo, guinchos e brocas. Para o caso dos guinchos e brocas, também podem ser controlados através da central eletrônica.

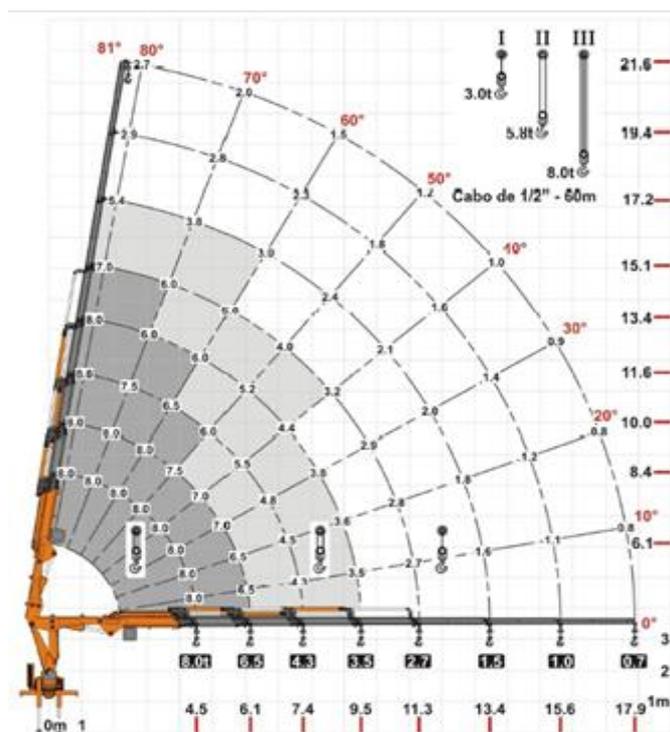
Figura 5 – Guindaste com cesto aéreo acoplado



Fonte: Própria

O sistema do guindaste é projetado para produzir um momento de força (conjugado ou torque) que possibilite içar cargas dentro de um limite do momento da tabela de carga, como mostrado na figura 6. Quanto maior a distância do centro do guindaste, menor é a carga que ele poderá erguer.

Figura 6 - Gráfico ou tabela de carga



Fonte: Manual curso de operação RLC1000

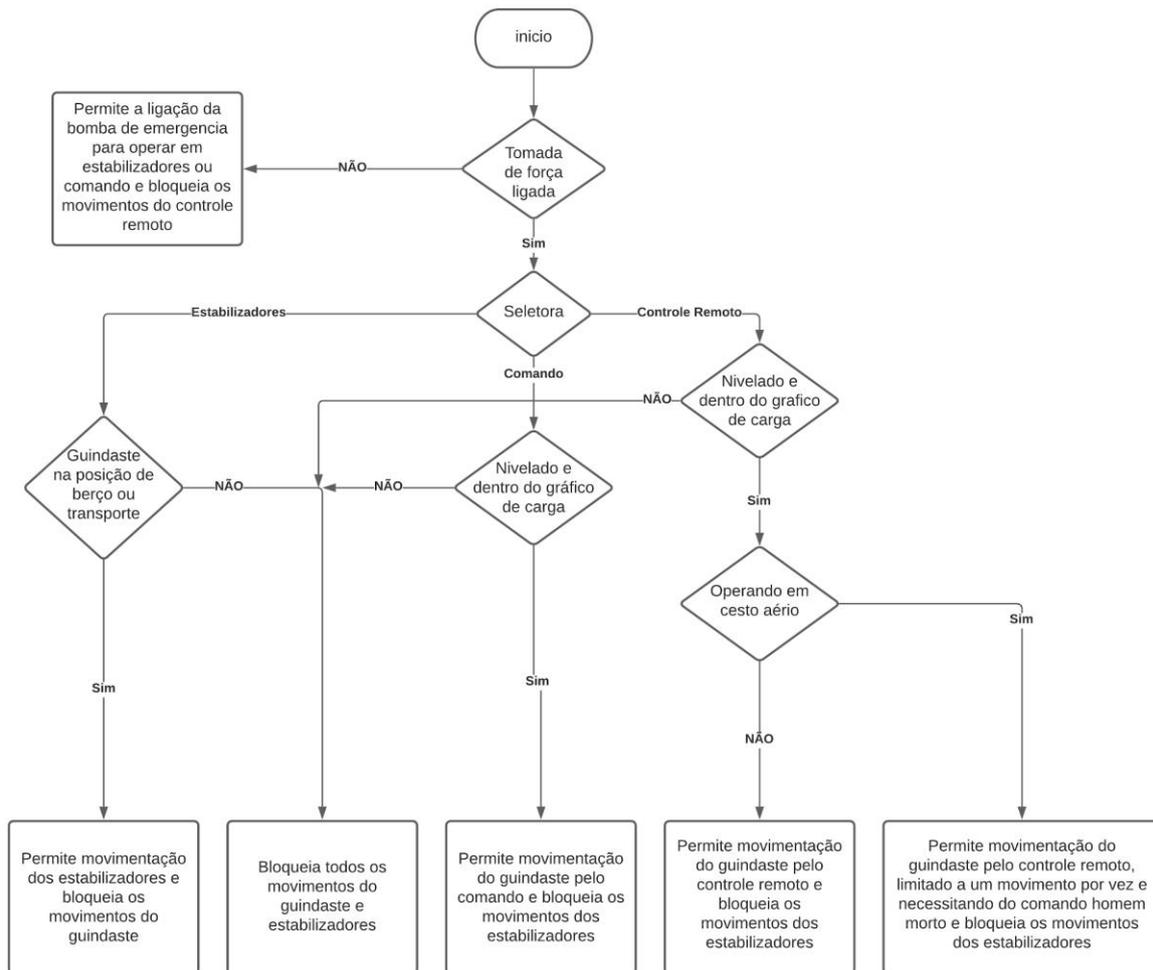
A tabela de carga elaborada considerando a resistência estrutural do guindaste e sua estabilidade contra tombamentos. Ela é fornecida pelo fabricante do guindaste e é dada por toneladas métricas, ou seja, quanto mais distante do eixo do guindaste, menor será a massa da carga que poderá ser erguida.

2.4 Indicador de carga segura

Para diversas operações, é obrigatória a utilização de um indicador de carga segura, para indicar quando o operador está trabalhando fora da tabela de carga. Muitas vezes o equipamento deve bloquear fisicamente o guindaste para que não sejam feitos movimentos que aumentem o momento de carga quando a operação já se encontra fora da tabela de carga (INTERNATIONAL LABOUR OFFICE, 1995). Esse indicador irá calcular a massa da carga, o ângulo do braço do guindaste e a extensão do guindaste para verificar se a carga está dentro ou fora da tabela de carga (CHANDRAN et al., 2017).

Na figura 7, está demonstrado um fluxograma simplificado, demonstrando os bloqueios que o sistema de indicação de carga segura deve fazer.

Figura 7 - Fluxograma simplificado dos bloqueios do rádio controle



Fonte: Própria

2.5 Rádio Controle

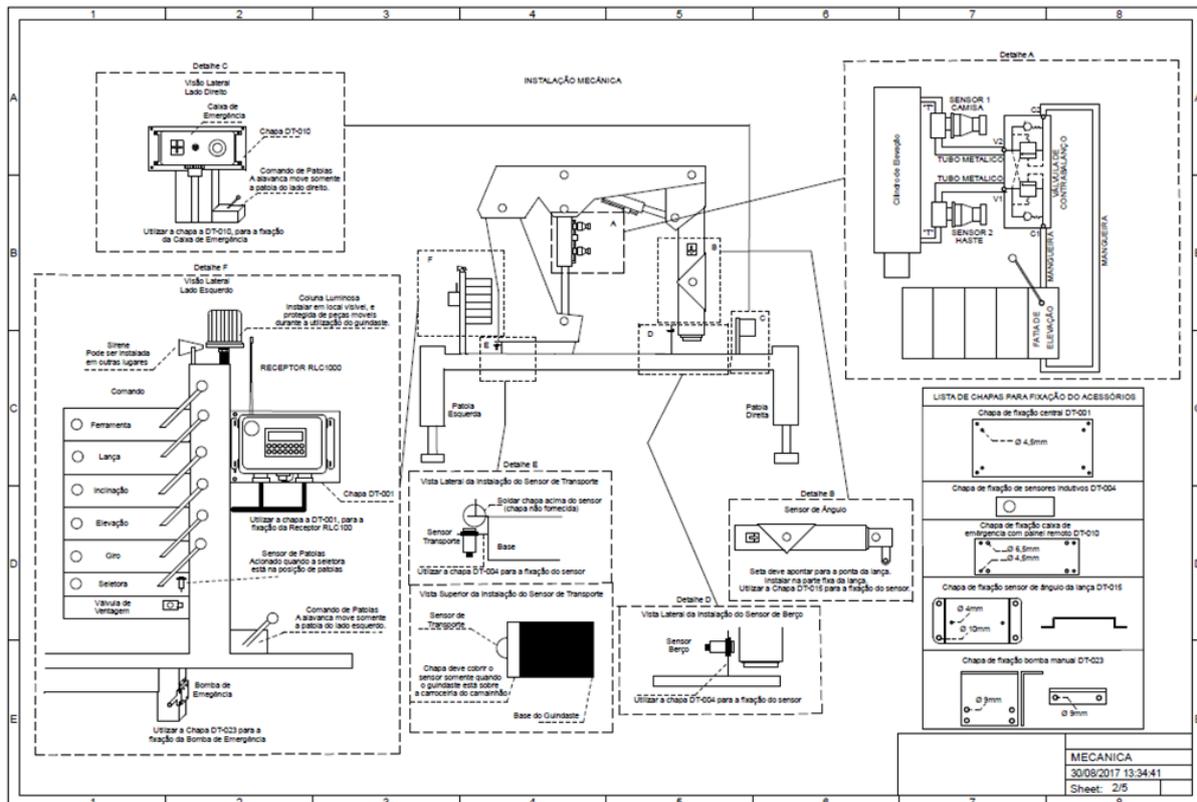
A central responsável pela limitação de carga também pode atuar como receptora de um rádio controle remoto, em que controla os movimentos do comando do guindaste através de um transmissor.

Também pode acontecer de ter apenas a central receptora, sem os dispositivos de limite de carga. Nesse caso, o guindaste atuará a qualquer movimento feito pelo operador, mesmo que esteja fora do gráfico de carga.

2.6 Periféricos

Para a operação usando limitador de carga ou rádio controle, são necessários sensores e sinalizadores, como sensor de inclinação; sensores de posição; transdutores de pressão; caixa de emergência dotada de botão de emergência para parada instantânea; indicador de inclinação; chaves seletoras entre manual; rádio controle e estabilizadores como mostrado na figura 8.

Figura 8 - Visão geral da instalação de um limitador de carga com rádio controle



Fonte: Manual curso de operação RLC1000

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

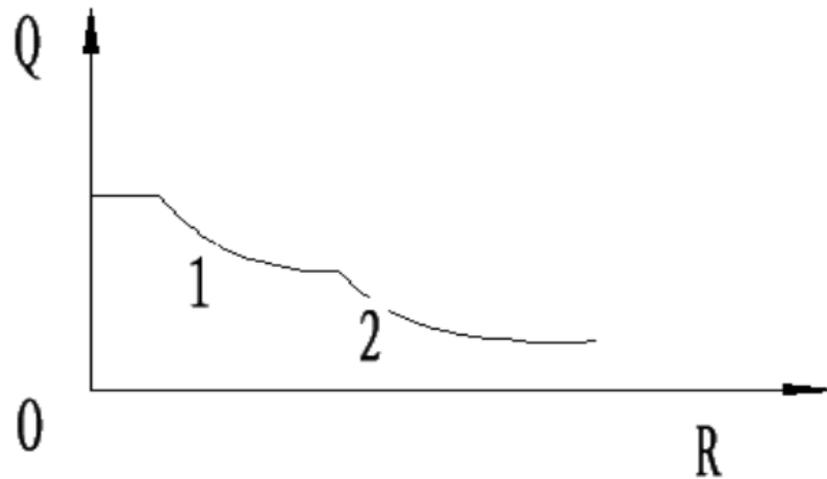
Em relação a projetos de sistemas de automação para máquinas de guindauto, que têm como objetivo possibilitar o aumento da segurança e da eficiência nos trabalhos de movimentação de cargas e de pessoas, existem literaturas que dissertam sobre a aplicação de soluções para limitação de carga e para a elaboração de sistemas de controle remoto e/ou limitadores de carga eficientes. Ainda, é importante ressaltar que há trabalhos com soluções distintas visto que cada país possui normas específicas.

Em (NOH et al., 2020), foi desenvolvido um limitador de carga que mede a sobrecarga do guindaste através de sensores de ângulo, de pressão e da extensão do comprimento de lança. Dessa forma, o limitador calcula a massa da carga e, com isso, indica os ângulos máximos para a carga específica e bloqueia os movimentos, quando o ângulo formado pela lança e a torre passa do ângulo crítico calculado. Para o presente estudo, esse aspecto do cálculo da massa da carga, é um dos recursos que podem ser utilizados para a realização de um limitador de carga. No entanto, essa abordagem gerariam custos desnecessários, visto que esse sensor de comprimento de lança e o valor da massa da carga não são exigidos pela norma brasileira.

Em (MAJEWSKI et al., 2017), foi elaborado um controle remoto para a otimização do movimento do guindaste. Dessa forma, são estabelecidos os pontos finais e iniciais e, na sequência, o guindaste realiza o movimento mais eficiente para chegar no ponto final. Esse cálculo da trajetória mais eficiente é feito por meio do software. Esse recurso possibilita grandes ganhos, principalmente, em movimentos repetitivos, pois eles já estarão pré-calibrados no sistema. Por consequência, acarreta mais trabalho em operações que não apresentam esse padrão de repetitividade. Essa abordagem é interessante para o aperfeiçoamento do movimento do guindaste, no entanto, nesse trabalho, será utilizada a abordagem por meio de movimento incrementais para dar mais autonomia ao operador.

Em (QIU; YANG, 2012), foi desenvolvido um limitador de carga, com o foco no desenvolvimento de soluções para os sensores de ângulo e de extrusão do comprimento de lança, através da tensão de um cabo retrátil. O mesmo limitador foi abordado em (YANG; QIU, 2012) explorando em testes a não linearidade dos limites de levantamento de carga, sendo compostos por duas curvas não lineares, o limite mecânico da estrutura e o limite de estabilidade do conjunto. Na figura 9, estão demonstradas as curvas.

Figura 9 - O limite mecânico da estrutura e o limite de estabilidade do conjunto do guindaste



Fonte: (QIU; YANG, 2012)

Em (GARAFFO et al., 2017), foi elaborado um sistema para simular o um guindaste e assim, realizar as calibrações de um limitador de carga com base nas especificações construtivas de cada guindaste gerando calibrações específicas para cada um, diminuindo o tempo de calibração do limitador de carga quando posicionado no guindaste. Esse sistema gera uma boa aproximação nos valores de pressão para a calibração dos sistemas de limitação de carga, principalmente para guindastes novos, entretanto, acaba tendo uma variação muito grande para guindastes antigos, uma vez que a falta da troca regular do óleo e outras variações mudam significativamente as pressões de trabalho exigindo mais do guindaste e variando as calibrações de limitação de pressão. Além disso, ele não elimina a calibração dos inclinômetros, que são afetados significativamente pela por pequenas variações na instalação dos sensores, sendo assim, é indispensável a calibração dos inclinômetros após a instalação no guindaste.

Em (KALAIRASSAN; BOOPATHI; MOHAN, 2017), foi elaborado um sistema de limitação de carga que, quando excede o valor de carga segura, retrai a lança telescópica ou levanta a lança para obrigar o guindaste a sempre operar dentro dos limites de carga segura, o que aumenta a durabilidade do guindaste e diminui o risco de tombamento por não trabalhar acima de suas capacidades nominais. Entretanto, esse sistema diminui a autonomia do operador por exercer um movimento para reduzir o momento de carga ao invés de apenas bloquear os movimentos que aumentariam o momento de carga além do limite.

Em (BALKAN T., 1995), foi desenvolvido um sistema de limitação de carga para proteger o guindaste de tombamentos verificando se a carga é permitida ou não, com base na posição angular. Esse trabalho se destaca pela aquisição de dados de pressão coletados na haste e na camisa do cilindro hidráulico de elevação, tanto nos movimentos de ascendência e descendência.

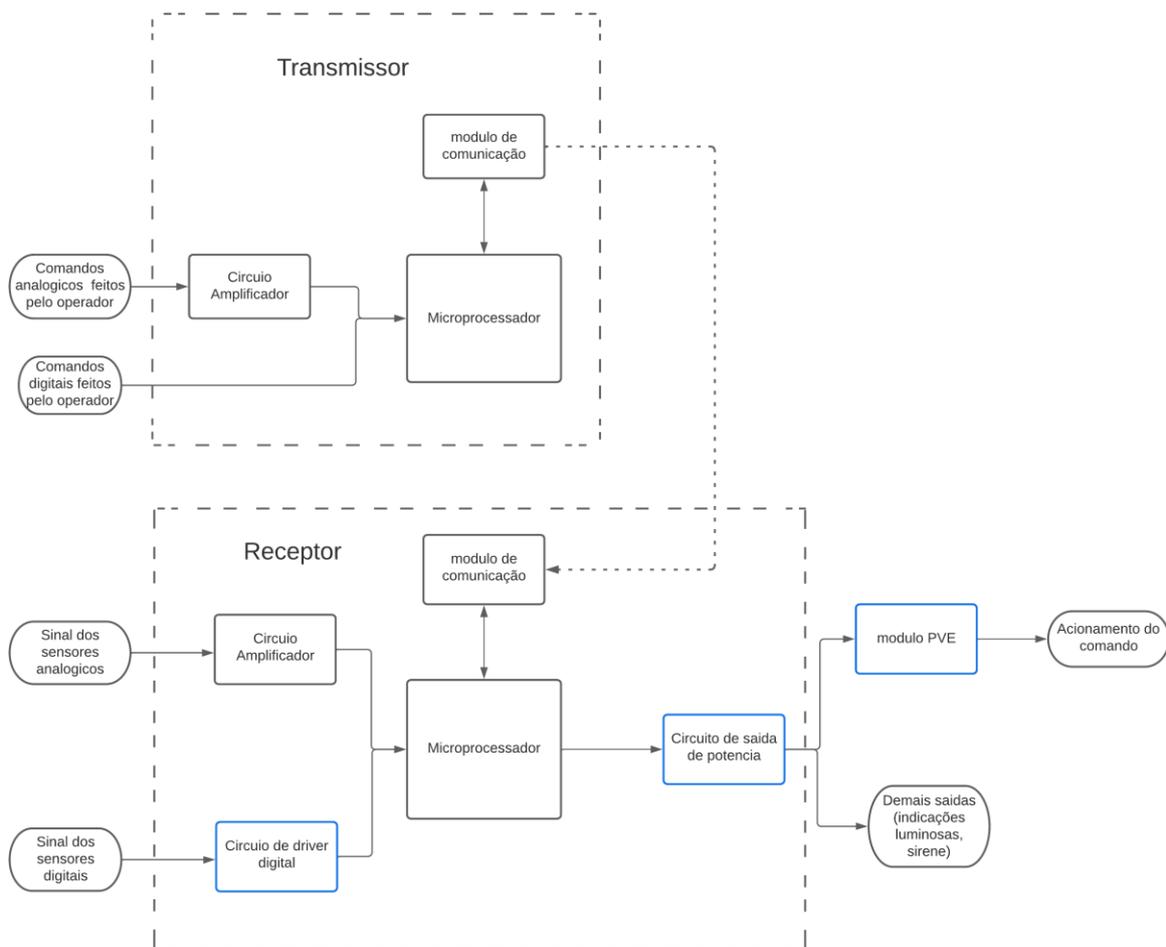
Em (MARCA L., 2014), demonstra vários cálculos de estabilidade do guindaste contra tombamentos, abordando suas particularidades para cada área de operação do caminhão, sendo elas, dianteira, traseira e lado carona ou lado motorista.

Em (NASCIMENTO R., 2019), explora o dimensionamento do guindaste, mostrando os esforços mais importantes que devem ser levados em conta do ponto de vista estrutural, tais cálculos podem ser levados em consideração para a elaboração dos limites para os cálculos de limite de carga.

4 PROJETO

Para a realização deste trabalho foram desenvolvidos diversos circuitos eletrônicos os quais são a seguir descritos. O desenvolvimento de placas eletrônicas dedicadas, bem como a utilização de módulos pré-existentes devem ser feitos observando critérios de segurança, confiabilidade e minimizando efeitos eletromagnéticos indesejáveis nos circuitos, causados por circuitos de potência e alta frequência. A figura 10, demonstra um diagrama de blocos referente as partes constituintes do radio controle com limitação de carga, as que foram alteradas para adequação a norma estão em azul, além dos firmwares e do *layout* da placa do transmissor, que também precisaram ser alterados.

Figura 10 – Diagrama de blocos do circuito do radio controle, receptor e transmissor.



Fonte: Própria

4.1 Circuitos eletrônicos de proteção

A escolha do layout e dos componentes do circuito visa a reduzir as emissões de radiofrequências e tornar o circuito menos suscetível às interferências externas e subcircuitos presentes na própria placa. Para circuitos responsáveis pela segurança do operador ou do equipamento foram usadas técnicas de ambiguidade, aumentando a confiabilidade do circuito.

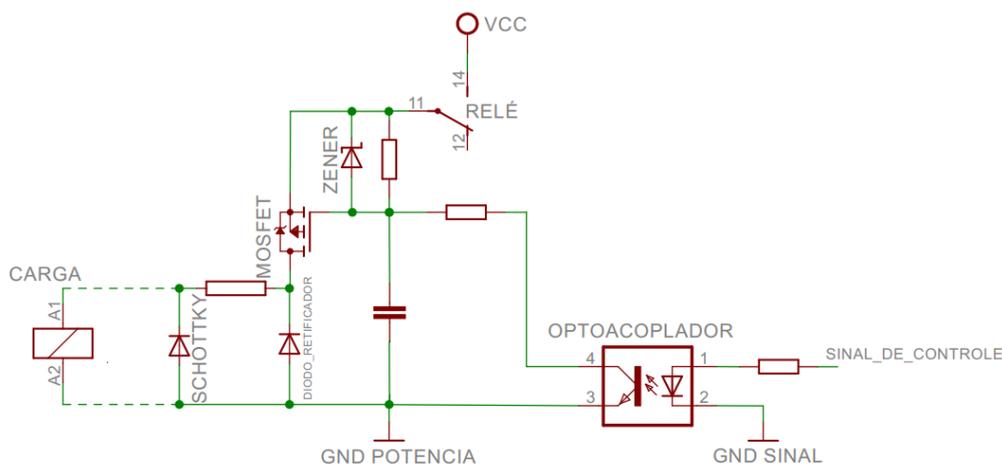
4.1.1 Circuito de entrada

Considerando que a maioria dos sensores digitais são alimentados em 24V, para proteger o microprocessador foi utilizado um *array* de transistores para evitar que tensões próximas de 24V pudessem chegar no microprocessador. A saída dos sensores digitais ficam conectados nas bases dos transistores, todos os emissores são aterrados e os coletores dos transistores são conectados ao microcontrolador, isso faz com que os transistores operem como chave aberta ou fechada com o GND, protegendo assim o microcontrolador de tensões acima de sua alimentação.

4.1.2 Circuito de saída da central

Para o circuito de saída, foi utilizado um optoacoplador com a finalidade de separar os terras dos circuitos de potência, do terra do circuito de sinal, esses terras são unidos apenas no contato da bateria, protegendo o circuito logico de eventuais surtos no circuito de potência. Na figura 11, é demonstrado um esquemático do circuito de saída.

Figura 11 – Esquemático simplificado do circuito de saída



Fonte: Própria

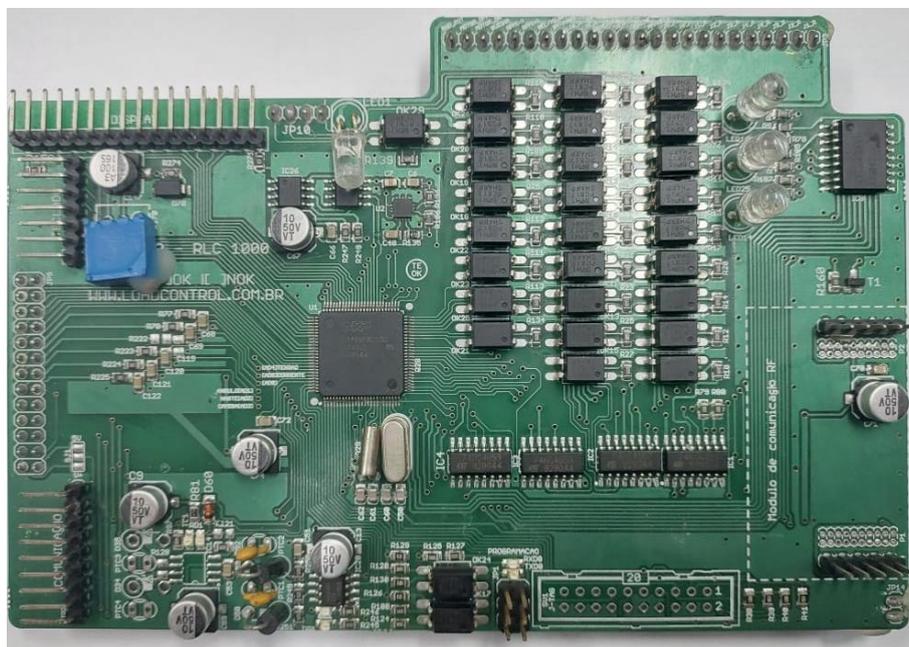
Foi utilizado também um diodo zener para limitar a tensão máxima entre a porta e a fonte do *mosfet*.

Considerando as características indutivas na carga, foi introduzido um diodo *schottky* em paralelo com a carga, próximo às saídas da placa, que pela sua rápida resposta a transientes de tensão, trabalha como supressor de ruídos e roda livre. Há também um diodo retificador, trabalhando em ambiguidade com o diodo *schottky* posicionado próximo do *mosfet*.

Toda a alimentação de potência passa por um sensor de efeito *hall* que mede a corrente que está sendo consumida pelo circuito de potência. Se essa corrente passa de um limite pré-estabelecido, o processador corta essa alimentação por meio de um relé. Esse cenário pode ocorrer por curtos nas bobinas da carga ou nos cabos que ligam a central no comando.

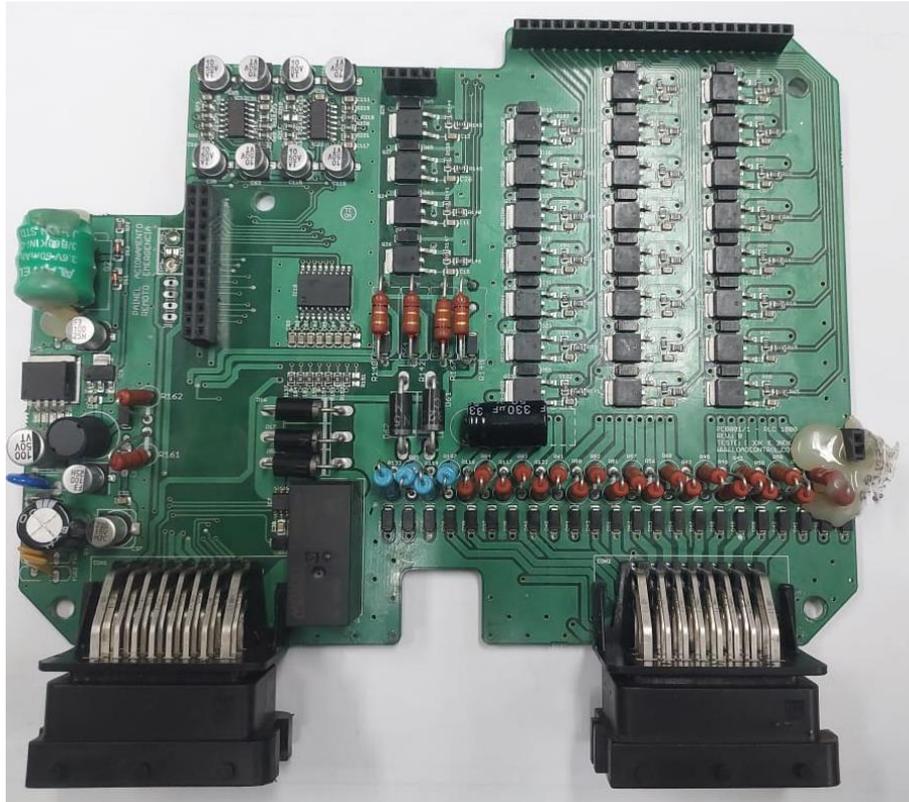
As placas que compõem a central estão nas figuras 12 e 13.

Figura 12 – Placa superior da central receptora



Fonte: Própria

Figura 13 – Placa inferior da central receptora



Fonte: Própria

Para testar o circuito de saída, vão ser utilizadas duas bobinas de um comando para um circuito de saída, ou seja, o dobro da carga nominal.

Serão realizados dois testes, o primeiro com um sinal de acionamento PWM de 150 KHz, frequência nominal para a maioria dos comandos, por 90 horas em 10 intervalos de 9 horas seguidas com alimentação constante de 24V, simulando assim operações seguidas no circuito. O segundo teste com um sinal de acionamento constante por 90 horas em 10 intervalos de 9 horas seguidas com alimentação constante de 24V, simulando assim um desgaste do circuito por temperatura.

4.2 Circuitos eletrônicos de acionamento e controle

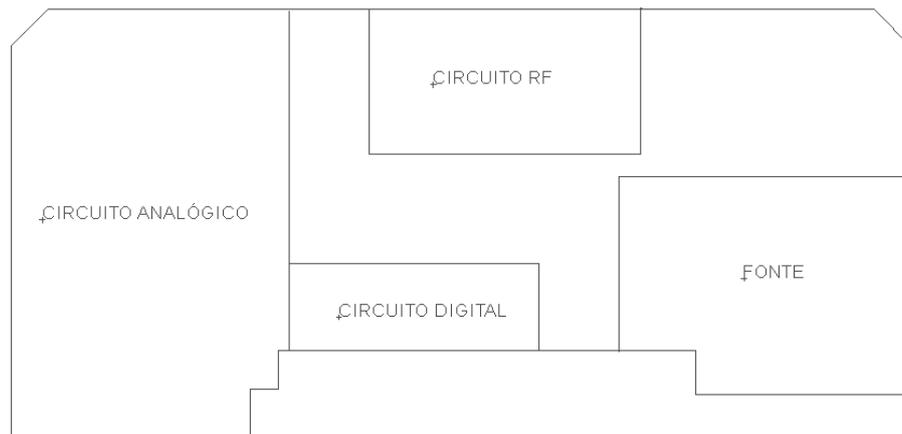
O *layout* das placas foi desenvolvido focando na segmentação dos subcircuitos. Eles foram separados em basicamente 5 blocos, são eles: fonte, circuitos digitais, circuitos analógicos, circuitos de RF e circuitos de potência. Próximo dos pinos de alimentação de cada circuito integrado, foram adicionados dois capacitores de desacoplamento, um de 100 μ F e

10 μ F. Esses capacitores auxiliam a eliminar *ripple*, fornecem energia em demandas de potência e eliminam ruídos de chaveamento (MONTROSE, 2000).

4.2.1 Circuito transmissor

Em destaque, é mostrado o *layout* segmentado do transmissor na figura 14 que, em razão da mudança no tamanho da bateria, tiveram que ser feitas alterações no injetado plástico do transmissor. Por esse motivo, a placa ficou com um formato não retangular. O circuito digital da placa do transmissor, foi originalmente projetado para trabalhar como redundância com o circuito analógico, sendo responsável por verificar se o *joystick* está na posição neutra. Essa função foi modificada para validar se o *joystick* está conectado na placa ou não. Essa informação é importante devido a alterações no firmware que poderiam gerar movimentos involuntários no guindaste caso não tivesse a informação de que o *joystick* não está conectado. Essa questão foi resolvida obrigando o operador a selecionar uma função de desativação dos *joysticks* que estiverem desconectados, caso contrário, o transmissor não inicializa a operação com o guindaste. A placa do transmissor está demonstrada na figura 15.

Figura 14 – *Layout* segmentado do transmissor



Fonte: Própria

Figura 15 – Placa do transmissor



Fonte: Própria

4.2.2 Módulo para acionamento PVE

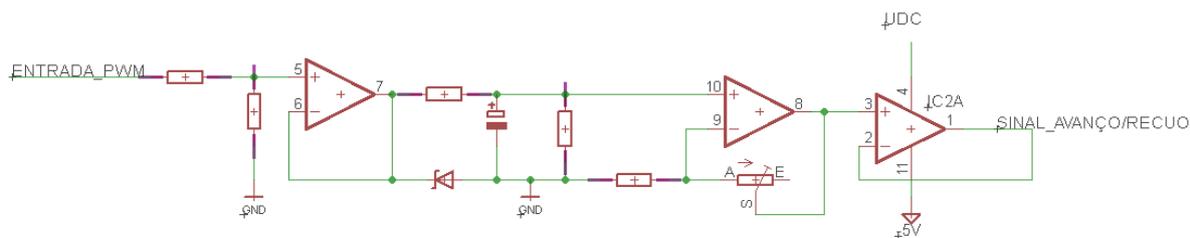
Foi desenvolvido também, um módulo para acionamento de comandos do tipo PVE, esse módulo foi desenvolvido para receber os sinais em PWM da central do rádio controle e através de circuitos de integração por amplificadores operacionais, transformar o sinal PWM em sinal constante de tensão, dependendo do duty cycle.

Por causa das características do acionamento desse comando, foi usado um sinal de referência de neutro, sendo esse, 50% do valor de U_{DC} , quando o receptor do rádio controle expressa um valor em PWM para um movimento no sentido de recuo, esse valor em PWM é transformado em valor constante, e subtraído do valor de referência de neutro, exercendo assim o movimento adequado, quando o receptor exerce um movimento de avanço, esse valor é somado ao valor de referência de neutro, gerando assim os sinais de U_S .

Há também um circuito de disparo, que só manda o sinal U_{DC} para a saída, quando há sinal de PWM na entrada do módulo, aumentando a vida útil do comando pois só será energizado quando for necessário exercer os movimentos e da bateria, pois não será usada energia desnecessária.

A figura 16 demonstra o esquemático dos circuitos usados para realizar a integração do sinal PWM, o circuito se repete tanto para avanço quanto para recuo, para cada movimento que queria ser controlado.

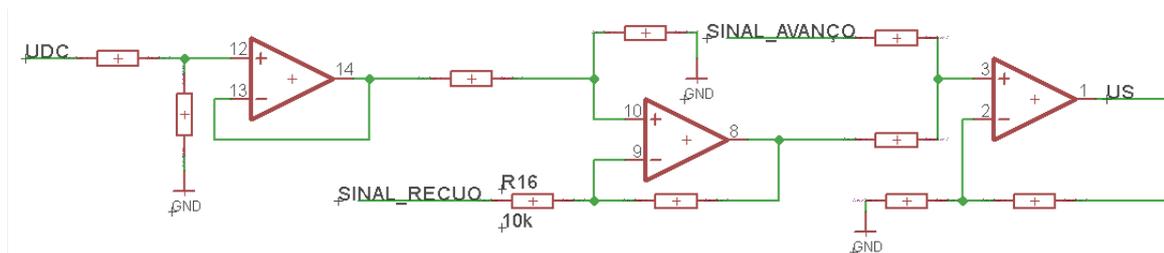
Figura 16 – Circuito integrador padrão para avanço ou recuo.



Fonte própria.

A figura 17 demonstra a subtração e a soma dos sinais de avanço e recuo com o sinal de referência, vale a pena salientar que os sinais de avanço e recuo não ocorrem simultaneamente, ou haverá sinal para que a válvula faça o recuo ou o avanço.

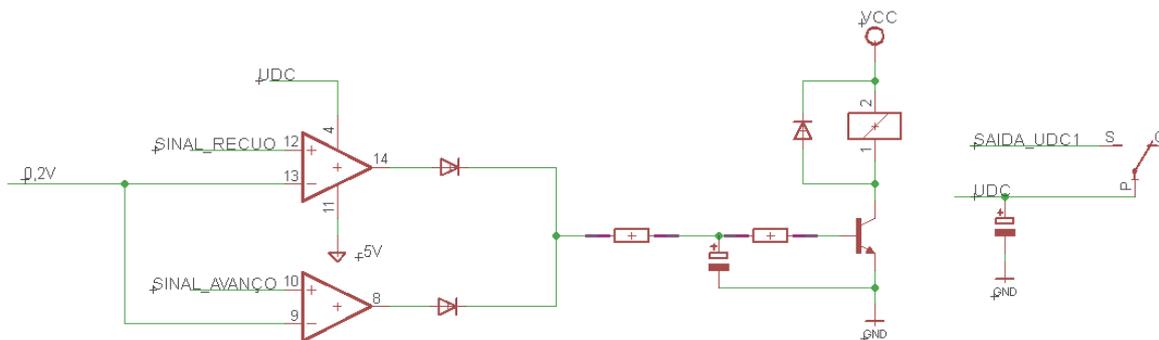
Figura 17 – Circuito de subtração do recuo e soma do avanço com o sinal de referência (metade do U_{DC}).



Fonte própria.

A figura 18 demonstra o circuito que compara se há sinal de recuo ou de avanço dos pistões, quando há esse sinal o relé é acionado e envia a alimentação para a fatia do comando referente aquele movimento.

Figura 18 – Circuito de comparação de sinal de entrada e acionamento da alimentação da bobina.



Fonte própria

Para validar esse circuito, foi feita uma simulação no software Microcap, e a montagem de um protótipo, com o protótipo, foram realizados testes em bancada e em dois guindastes distintos.

4.3 Firmware

O firmware foi atualizado visando a atender as mudanças da norma NR12 anexo XII além de aumentar proteção, segurança e comodidade para o operador, para a programação, foi utilizado linguagem C. As técnicas utilizadas estão descritas a seguir.

4.3.1 Sistema Homem-morto

A alínea “e” referente a cestas aéreas do anexo XII da NR12, solicita um “dispositivo de travamento de segurança de modo a impedir a atuação inadvertida dos controles superiores”. Para atender a norma, foi desenvolvido um sistema de homem-morto que quando o controle é posicionado no cesto aéreo, aciona automaticamente.

O sistema homem-morto consiste em apenas habilitar os movimentos do guindaste fazendo um movimento rápido de recuo e posicionando no avanço em um dos joysticks das extremidades (Joystick 1 ou 6). Esse procedimento habilita os movimentos do guindaste por 1 min, enquanto o joystick do homem morto estiver sendo acionado, depois de 1 min o procedimento deve ser repetido para reabilitar. Isso obriga que o operador use as duas mãos para realizar os movimentos e diminui as chances de movimentos involuntários no guindaste causados por esbarrões ou mesmos desmaios sobre o controle, que podem acabar gerando movimentações involuntárias nos joysticks.

Para algumas operações, pode ser solicitado que essa função esteja sempre ativada, para esses casos, o firmware vai com a função homem-morto sem a possibilidade de desativação. Para desativar, nesses casos, é necessário regravar a central

No transmissor, existe um sistema informativo que, quando o operador tenta realizar um movimento que não pode ser realizado pois não foi concretizado o procedimento do homem-morto, aparece na tela a informação “bloqueado homem-morto”. Essa informação pode ser desligada, caso o operador prefira gastar menos bateria.

4.3.2 Limite de carga

Visando a uma leitura de pressão barata e de qualidade, foi elaborado um sistema de leitura de pressão que consiste em apenas um sensor de pressão, localizado na mangueira entre o lado camisa do cilindro (fundo do cilindro) de elevação e a válvula de retenção do tipo contrabalanço (holding), um sensor indutivo, captando quando a alavanca do cilindro de elevação na posição abaixa e um sensor de ângulo, medindo o ângulo da lança em função do solo.

Com a posição do sensor de pressão, é possível medir exatamente a pressão que está no cilindro de elevação, que é responsável por sustentar a carga que está sendo erguida e todo o restante do braço do guindaste. Também seria possível medir diretamente no cilindro de pressão, porém isso exigiria uma usinagem no cilindro, que poderia causar vazamentos posteriores. Por isso, não é usado.

Cada guindaste tem suas particularidades e deve ser feito uma calibração para que o sistema de limitação de carga funcione plenamente. Para isso, deve ser usado um corpo de prova de valor de massa conhecida, que deve ser erguido até que fique na linha do horizonte e até a distância estipulada no gráfico de carga do guindaste em questão e registrar o valor da pressão indicado. Deve-se preferir cargas de valores baixos, que podem ser erguidas até o limite da última lança. O valor da carga ideal varia de acordo com o guindaste. Essa preferência se dá em razão das características não lineares do gráfico de carga. É aconselhado que seja realizada a calibração pelo menos uma vez por ano, uma vez que variações nos estados das vedações e na qualidade do óleo em uso podem acarretar em alterações na pressão máxima de trabalho. O sistema emitirá um sinal luminoso amarelo de alerta quando o guindaste estiver registrando 90% da pressão máxima calibrada; quando estiver em 100% ou acima, emitirá um sinal luminoso vermelho e uma sirene, para alertar que passou do gráfico de carga do guindaste. Além disso, vai bloquear todos os movimentos que aumentem o torque do braço do guindaste, permitindo apenas movimentos que diminuam o torque.

Para diminuir a carga, o sistema vai sempre permitir o recolhimento da lança, ele também pode permitir abaixar a carga, por meio da função elevação (abaixa), caso o ângulo da lança esteja abaixo do horizonte, ou levantar a carga por meio da função elevação (levanta), caso o ângulo da lança esteja acima do horizonte.

Quando não é possível diminuir a carga de forma segura é necessário usar o guindaste um pouco acima dos 100% da carga, pode ser usado a função “by-pass”, essa função permite que o usuário possa trabalhar um pouco acima da capacidade de carga durante um breve momento,

e será registrado a data e hora que essa função foi ativada para que possa ser lida posteriormente.

Em razão do funcionamento da válvula de contra balanço, quando o cilindro de elevação está fechando, os sensores registram diversos picos de pressão, que não são em razão da carga. Para isso, é utilizado o sensor indutivo, que registra o movimento de fechamento do cilindro de elevação e verifica se deve ou não bloquear esse movimento com base nos outros sensores.

Para tornar o sistema mais flexível, foram adicionadas as curvas de resposta dos quatro sensores de pressão mais usados no mercado, caso o do cliente precise ser substituído, pode substituir por qualquer um desses e alterar nas configurações, lembrando que o mais adequado é trabalhar com o sensor que for imediatamente acima da pressão de trabalho máximo do guindaste, para que seja usado o máximo da excursão do sensor.

Para o teste do sistema do limitador de carga, será inicialmente testado em bancada, e depois utilizado um guindaste que deverá ser adaptado para operar com um sensor de pressão para o lado camisa do cilindro de elevação e um sensor indutivo posicionado nas alavancas do comando para gerar um feedback na alavanca elevação abaixa.

4.3.3 Calibração e ativação/desativação dos joysticks

Essa é função visa a atender a alínea “C” referente a cestos acoplados do anexo XII da NR12, que solicita que os “controles para movimentação da caçamba na parte superior e na parte inferior, que voltem para a posição neutra quando liberados pelo operador”. Além de dar mais flexibilidade e segurança nas operações.

Os joysticks usados no transmissor são alimentados com 3,3V e possuem os seguintes valores quando estão em perfeito estado: centro em 1,65V, recuo máximo em 1,95V e avanço máximo em 1,35V. Esse intervalo entre o avanço e o recuo de cada joystick é amplificado na placa para que a porta A/D de 8 bits do controlador leia valores entre 0 a 3,3V com uma resolução de 12,89mV. Os valores digitais do recuo máximo, avanço máximo e centro (neutro) são definidos respectivamente 255, 0 e 128. Entretanto, originalmente o programa possuía uma zona morta de 113 a 143, dentro desse intervalo a central não realizava nenhum movimento para evitar movimentos involuntários causados por variações estruturais nas molas ou nos potenciômetros ao longo do tempo.

O que era eficiente por algum tempo, no entanto, com o passar dos anos, os joysticks acumulam desgastes principalmente nas molas e no potenciômetro, provocando deslocamentos nos pontos de máximo recuo e máximo avanço, que podem ocasionam falta de sensibilidade

ou limitação da velocidade máxima, além de deslocamento do ponto de neutro, que pode causar movimentos involuntários no guindaste. Para o caso do ponto de neutro, é comum que com o tempo se formem dois pontos de neutro (quando aciona o avanço ele retorna para um ponto de equilíbrio, quando se aciona o recuo ele retorna para outro ponto de equilíbrio).

Para evitar que pequenas variações nesses pontos de neutro obriguem o proprietário do equipamento a mandar para alguma assistência técnica autorizada e tenha que adquirir outro joystick, foi desenvolvido um sistema de calibração dos joysticks.

Para acessar a calibração do joystick, basta ligar o transmissor enquanto pressiona a chave RPM-, isso faz com que o transmissor ligue exibindo um menu de calibrações, sem exercer nenhum movimento no guindaste, e encontrar a função calibração joystick. Ela solicita que o operador acione o avanço de um joystick e aperte para confirmar, depois deve ser posicionado lentamente ao centro e confirma, fazer o mesmo procedimento para o recuo e centro de novo.

Com os valores máximos de avanço, recuo e os dois valores de centro armazenados, é feito a calibração. A calibração é feita diferenciada entre o avanço e o recuo, quando o valor lido pelo conversor A/D é menor que o valor que foi calibrado como centro avanço

$$Valor_{calibrado} = \frac{(Valor_{lido} - Valor_{min}) * 128}{(Centro_{avanço} - Valor_{min})} \quad (2)$$

Quando o valor lido pelo conversor A/D é maior que o valor que foi calibrado como centro recuo:

$$Valor_{calibrado} = \frac{(Valor_{lido} - Centro_{recuo}) * (256 - 128)}{(Valor_{max} - Centro_{recuo})} + 128 \quad (3)$$

Quando o valor lido pelo conversor A/D está entre os dois centros, ele permanece fixo em 128, criando propositalmente uma pequena zona morta entre os dois centros, para que não ocorra movimentos nesse intervalo.

Para evitar que sejam usados joysticks muito danificados, foram adicionadas duas condições para que o transmissor ligue em operação:

$$Centro_{avanço} - Valor_{min} > 60 \ \&\& \ Valor_{max} - Centro_{recuo} > 60 \quad (4)$$

Essa condição obriga que tenha um intervalo útil mínimo para os movimentos de avanço e recuo, e foi adicionado pois joysticks com intervalos menores, provavelmente estarão

tão danificados que não terão valores estáveis de neutro, e máximos avanço e recuo, obrigando assim a substituição por um equipamento adequado ou a desativação dele.

É possível ativar e desativar um joystick por meio do menu de configurações, quando desativado os seus valores não serão interpretados como movimentação para o guindaste, ou funções auxiliares. Depois de substituído, ele pode ser reativado para voltar o seu funcionamento.

Por questões de comparação, foi adicionado uma função que possibilite ver os valores medidos pelo A/D (pré-calibração) e os valores após a calibração.

Para testar a necessidade da calibração, foi testado um transmissor, com joysticks novos e com joysticks antigos descartados pela assistência técnica.

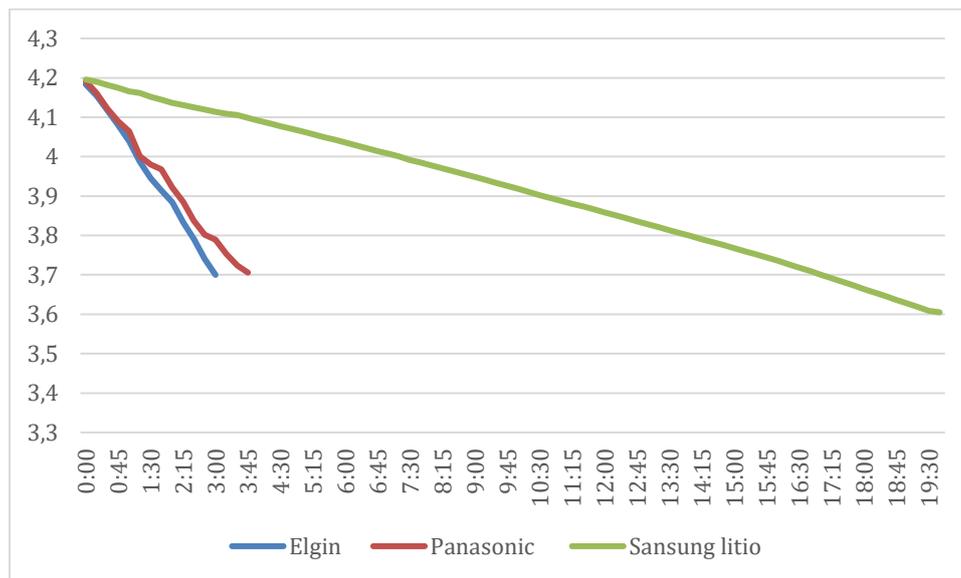
5 VALIDAÇÃO

Em geral, o durante o andamento de cada projeto, foram feitos testes em simulação e testes de protótipos em bancada, e sempre que possível e necessário, foram feitos testes de validação em guindastes, os quais são a seguir apresentados.

5.1 Baterias

A figura 19 mostra a comparação entre baterias de NiCd e baterias de lítio testadas no transmissor.

Figura 19 – Gráfico de comparação das baterias de NiCd e de lítio



Os testes da bateria de lítio mostraram que além de ter um decréscimo da tensão mais lento que as baterias de níquel cádmio, elas conseguem manter funcionando em uma tensão mais baixa, sem prejudicar as baterias, por isso o sistema de desligamento em baixa tensão pode ser ajustado para as baterias de lítio, diminuindo a tensão mínima de operação.

Considerando que alguns clientes possuem ainda baterias de níquel cádmio e estão adquirindo as baterias novas, o transmissor recebeu um menu que pode selecionar a bateria que está sendo usada no momento.

5.2 Circuito de saída:

Ao final dos dois testes realizados no circuito de saída, não foi encontrado nenhum dano no circuito. Com a aprovação desses testes iniciou-se a fabricação da PCI, cerca de 40 placas usando essa topologia de circuito de potência estão em operação a pelo menos 11 meses, não sendo relatados nenhuma ocorrência de defeitos em uso após o seu funcionamento.

5.3 Limitador de carga

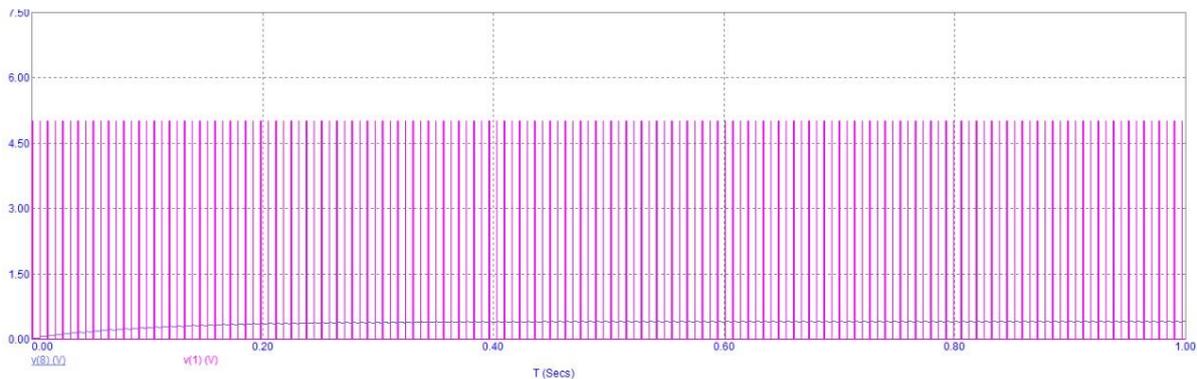
Primeiramente foi realizado o teste em bancada, simulando os sinais de pressão e de posição com os sensores indutivos, constatando o funcionamento em bancada, o sistema foi instalado em um guindaste. Durante o teste no guindaste, verificou-se os movimentos com a carga dentro dos limites configurados e foi constatado que a central permitia a movimentação do guindaste livremente.

Posteriormente realizou-se o teste acima do limite de pressão configurado na central, através da elevação de uma carga conhecida e da calibração do sistema para que ele fizesse o bloqueio em uma carga mais baixa, sendo possível observar o adequado bloqueio dos movimentos que ocasionariam o aumento do momento de carga, e a permissão dos movimentos que provocaram a diminuição do momento de carga.

5.4 Módulo PVE

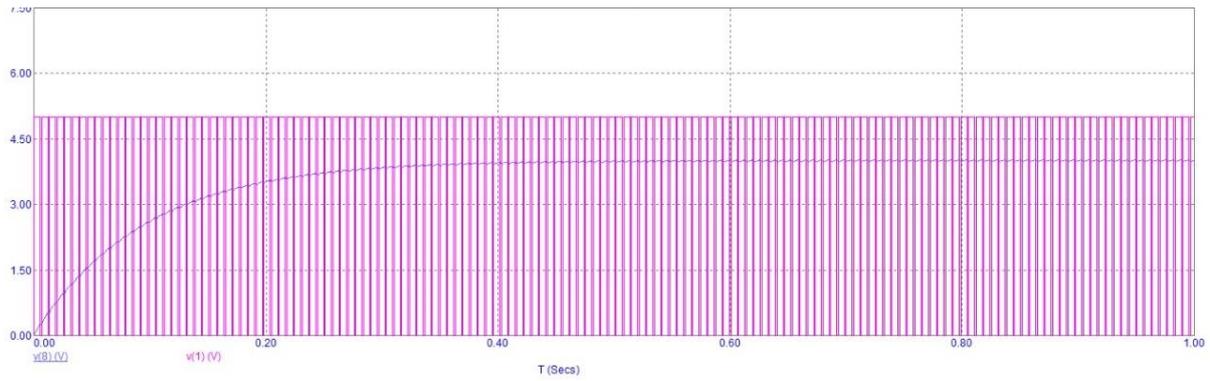
Primeiramente foram feitas as simulações no software Microcap para verificar se a integração estava sendo rápida o bastante, e com os valores de saída convergindo a uma reta de valor final proporcional ao valor de duty cycle do PWM de entrada. Como demonstrado nas figuras 20 e 21.

Figura 20 – Sinal após a integração com duty cycle de 8%



Fonte própria

Figura 21 – Sinal após a integração com duty cycle de 80%

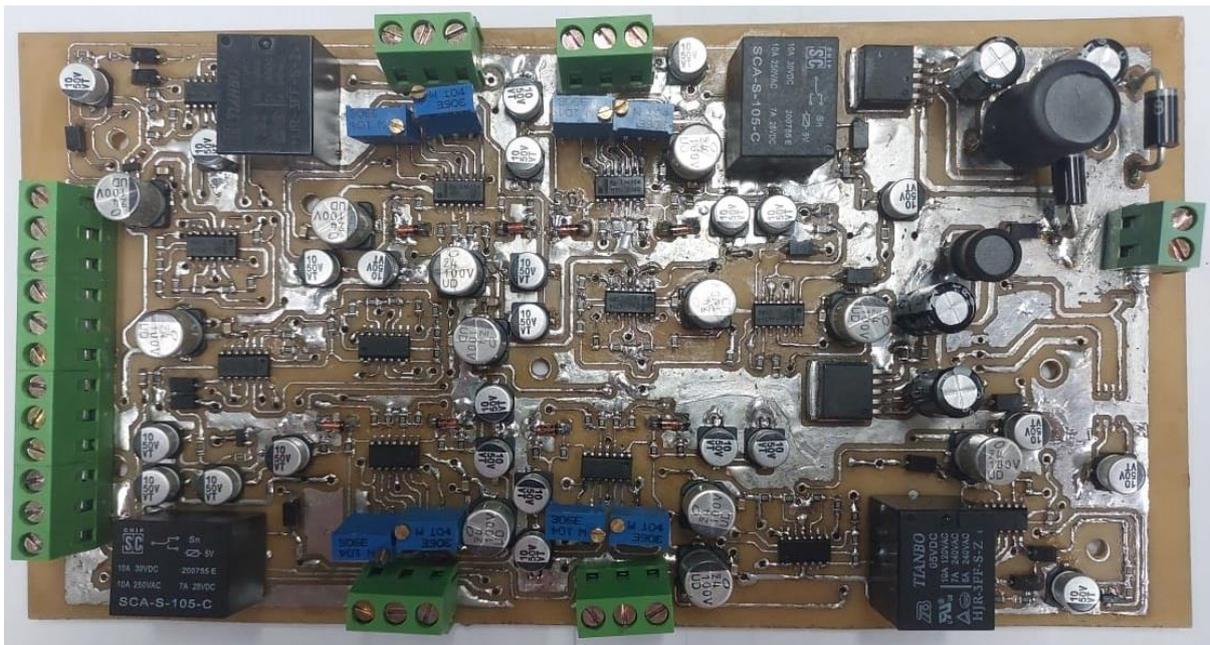


Fonte própria

Nas simulações foi observado um pequeno transiente, que nos testes realizados nos guindastes seriam observados, a fim de verificar se provocariam algum efeito de atraso na resposta.

Foi desenvolvido um protótipo em uma placa de fenolite para testar as amplitudes de sinal de saída

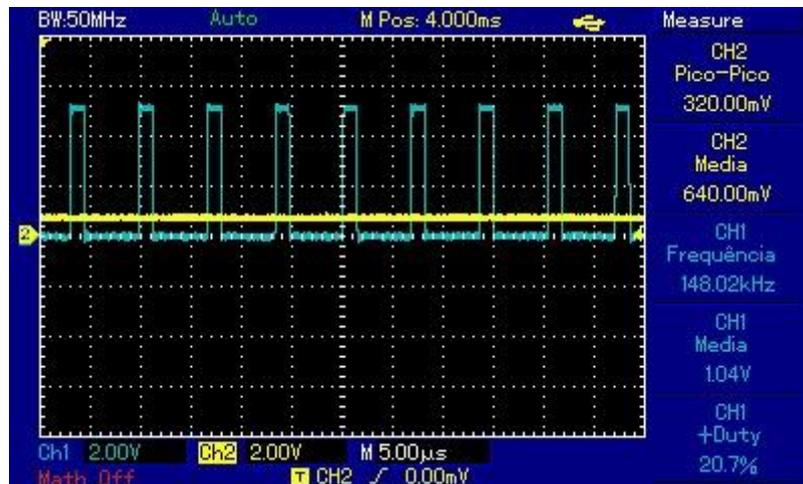
Figura 22 – Protótipo do módulo PVE montado em fenolite.



Fonte própria.

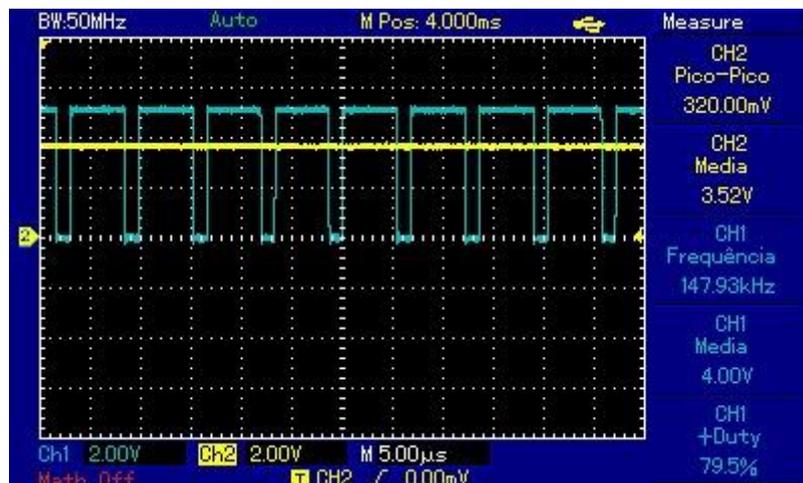
Usando o protótipo, pode se constatar os benefícios de ter usado um trimpot para ajuste do ganho de saída, isso permitiu compensar variações dos componentes, e alterar facilmente o ganho em situações que se queira utilizar alimentações distintas, como 5V, 12V, 20V ou 24V.

Figura 23 – Teste em osciloscópio usando um sinal PWM de amplitude de 5V e 20% de duty cycle.



Fonte própria

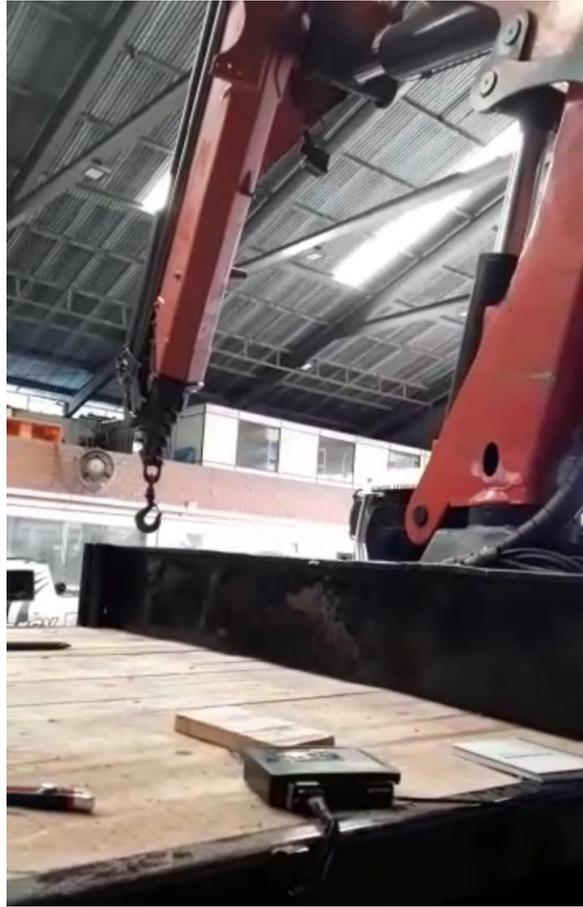
Figura 24 – Teste em osciloscópio usando um sinal PWM de amplitude de 5V e 80% de duty cycle



Fonte própria

Com o mesmo protótipo, foi realizado um teste em um guindaste, mostrando a eficácia do modulo para o uso do sistema de controle remoto para controle de comandos do tipo PVE

Figura 25 – Teste realizado em um guindaste com comando PVE



Fonte própria

O protótipo foi enviado para uma empresa de mineração que realizou testes em operação para verificar a durabilidade do circuito. O protótipo foi testado por 8 meses sem apresentar falhas, atualmente o projeto se encontra em fase de produção.

Os testes realizados em guindastes, mostraram que o módulo trabalhou com eficiência, operando com precisão nas velocidades mais baixas, e foi capaz também de alcançar a velocidade máxima do guindaste, garantindo eficiência nas operações. Foi demonstrado também que o transiente observado nas simulações, mesmo que pequeno, causou um efeito benéfico de aceleração suave, aumentando a segurança das operações com carga, tal efeito não foi visualizado quando o operador cessava o movimento, parando imediatamente, devido ao circuito de alimentação da bobina, que encerra a alimentação quando não há sinal PWM para avanço ou recuo, o que também se mostrou benéfico, pois não é desejável que o guindaste continue em movimento após o término do sinal.

5.5 Sistema homem-morto

O sistema homem-morto foi testado em bancada, mediando as saídas de ventagem e dos respectivos movimentos que o transmissor estava comandando, sem realizar o procedimento do homem-morto, o receptor não envia nenhum sinal na saída. Quando realizado o procedimento do homem-morto as saídas correspondiam aos movimentos, foi testado também que após um minuto o procedimento deve ser refeito, assim como esperado.

Foi realizado também o teste em um guindaste, verificando que sem realizar o procedimento correto, o guindaste não realiza nenhum movimento, e realizando corretamente o movimento o receptor habilita o guindaste para realizar os movimentos solicitados pelo transmissor.

5.6 Calibração em software dos joysticks

O primeiro teste do sistema de calibração do joystick foi realizado usando um produto novo, após a calibração, demonstrou um funcionamento adequado, possibilitando uma variação da leitura dos valores digitais de 0 a 255 (8 bits), e valores de centro em 128 com uma zona morta imperceptível.

Um segundo teste foi feito montando um transmissor com joysticks antigos, que haviam sido rejeitados na assistência técnica por não serem mais hábitos ao uso por razões de desgaste em função do tempo, foram usados equipamentos com pelo menos três anos de uso. Durante o teste, após a calibração, não foi observado nenhum movimento involuntário, os valores digitais continuaram variando de 0 a 255 bits e com os valores de centro em 128 bits, entretanto observou-se um pequeno crescimento esperado da zona morta, levemente diferente para cada um dos joysticks, dependendo do grau de desgaste das molas e do potenciômetro.

Para testar se o transmissor iria bloquear o joystick se tivesse um intervalo útil muito pequeno entre o centro e o avanço ou o centro e o recuo, foi feito um teste calibrando os joysticks sem levar ele ao máximo, simulando assim um joystick com defeito, o resultado foi o bloqueio esperado do transmissor até a desativação do joystick com defeito.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou técnicas que aumentam a durabilidade a flexibilidade e principalmente a segurança de operação em equipamentos de guindar. Esta pesquisa mostrou que não é apenas necessário a utilização de equipamento eletrônicos de monitoramento e bloqueios dos movimentos dos guindastes, como esses devem seguir uma série de normas que visam padronizar e estabelecer requisitos mínimos de proteção para elevações de cargas e de pessoas.

Ao longo deste trabalho, devido à atual crise de componentes eletrônicos, constatou-se a diminuição da disponibilidade de opções de componentes no mercado. Com a normalização dessa situação, se faz necessário uma nova pesquisa nos componentes disponíveis para reduções de custos e aumento da durabilidade dos componentes, buscando soluções que melhor atendam às necessidades do circuito

Ao final foi possível montar e testar todos os circuitos projetados. Diversas aplicações abordadas nesse trabalho, foram validadas em operação e estão em fase de produção ou sendo produzidas, mostrando uma boa aceitação no mercado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FUNDACENTRO. gov.br **Governo Federal**, 2019. Notícias: CTPP aprova novo texto da NR 12. Disponível em: <<https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/assuntos/noticias/noticias/2019/5/ctpp-aprova-novo-texto-da-nr-12>>. Acesso em: 14 de set. de 2021

REDAÇÃO PE. **Revista AECWEB**, c1999. Materias: maquinas e equipamentos pedem operadores treinados. Disponível em: < <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/maquinas-e-equipamentos-pedem-operadores-treinados/13025>>. Acesso em: 14 de set. de 2021

REQUISITOS de Atividades Críticas (RACs) da Vale acabam de ser revisados. **VALE**, 27 fev 2020. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/suppliers/noticias/Paginas/requisitos-de-atividades-criticas-racs-da-vale-acabam-de-ser-revisados.aspx#:~:text=O%20que%20s%C3%A3o%20os%20RACs,das%20atividades%20classificadas%20como%20cr%C3%ADticas.>>> acessado 8 de fev de 2022.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Norma NBR 14768:2015 - *Guindastes - Guindaste articulado hidráulico*

CHANDRAN, D. et al. **RFID Enabled Safe Load Indicator Data Logging System Enhances Higher HSE Standards in Offshore Crane Operations**. Day 4 Thu, November 16, 2017. **Anais...** In: ABU DHABI INTERNATIONAL PETROLEUM EXHIBITION & CONFERENCE. Abu Dhabi, UAE: SPE, 13 nov. 2017Disponível em: <<https://onepetro.org/SPEADIP/proceedings/17ADIP/417ADIP/Abu%20Dhabi,%20UAE/220005>>. Acesso em: 22 maio. 2021

INTERNATIONAL LABOUR OFFICE (ED.). **Safety, health and welfare on construction sites: a training manual**. Geneva: International Labour Office, 1995.

SOUZA, E. J. C. DE. **Controle anti-oscilatório de tempo mínimo para guindaste usando a programação linear**. Mestrado em Engenharia de Sistemas—São Paulo: Universidade de São Paulo, 20 out. 2009.

KALAIRASSAN, G.; BOOPATHI, M.; MOHAN, R. M. Analysis of load monitoring system in hydraulic mobile cranes. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 263, p. 062045, nov. 2017.

NOH, S.-H. et al. Economical Auto Moment Limiter for Preventing Mobile Cargo Crane Overload. **Sensors**, v. 20, n. 21, p. 6355, 7 nov. 2020.

QIU, L. J.; YANG, J. Design and Control on Automobile Crane Torque Limiter. **Applied Mechanics and Materials**, v. 201–202, p. 657–660, out. 2012.

YANG, J.; QIU, L. J. AMLU Truck Crane Torque Instrument Working Set and Analysis. **Advanced Materials Research**, v. 424–425, p. 1037–1040, jan. 2012.

IBRAHIM, Dogan. *Advanced PIC microcontroller projects in C: from USB to RTOS with the PIC 18F Series*. Newnes, 2011.

PESSOA, A. B.; SOUZA. Implementação de um módulo pwm em uma plataforma de hardware reconfigurável. **Encontro de computação do oeste potiguar (ecop 2020)**. 21 a 23 de outubro de 2020