

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

FLÁVIA BONETTE MACHADO

AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE UREIA - ARAUCO DO BRASIL

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2019

FLÁVIA BONETTE MACHADO

AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE UREIA - ARAUCO DO BRASIL

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. M. Sc. Silvio Cezar Bortolini

CURITIBA
2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Automação Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE UREIA - ARAUCO DO BRASIL

por

FLÁVIA BONETTE MACHADO

Esta monografia foi apresentada em 07 de Março de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Automação Industrial. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. M. Sc. Silvio Cezar Bortolini
Orientador

Prof. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

– O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

A Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada, aos meus pais que não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida e a todos aqueles que de alguma forma estiveram próximos e me apoiaram durante toda a trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que permitiu todas as conquistas ao longo da minha vida, por ter me concedido saúde e força para superar os momentos difíceis, sem ele nada disso seria possível.

Agradeço minha família por todo o apoio e incentivo, especialmente, aos meus pais, Erasmo e Eunice, que tanto lutaram pela minha educação, nunca me deixaram desistir e foram sempre a resposta para minhas dúvidas.

Meus agradecimentos aos amigos que, mais uma vez, fizeram parte da minha formação, que compreenderam minha ausência e estiveram presentes nos momentos de alegria e tristeza.

A esta instituição, agradeço por me oferecer um ambiente de estudo estruturado, estímulos para contínua evolução e crescimento, além do privilégio em contar com os melhores professores, educadores e orientadores.

A Arauco do Brasil e sua equipe de engenharia, pela confiança, apoio e por proporcionar experiências profissionais que geram tamanho aprendizado e jamais serão esquecidas.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

(Albert Einstein)

RESUMO

MACHADO, Flávia Bonette. **Automação do sistema de ureia - Arauco do Brasil**. 2019. 89 p. Monografia do Curso de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Apresentação do projeto para ampliação do sistema de ureia da fábrica de resinas da Arauco do Brasil, com foco no que diz respeito à automação. Com a eliminação das operações com big-bags de ureia há uma redução significativa nos riscos de acidentes com elevação de cargas. Além disso, a automação no sistema de dosagem proporciona o melhor controle de processo e redução da probabilidade de produtos fora dos requisitos de qualidade, como consequência reduzem-se os impactos ambientais relacionados à geração de efluentes e destinação de resíduos. O conteúdo contempla desde a contextualização do cenário com o problema e oportunidade inicial, o levantamento de informações de processo e informações técnicas do sistema atual, apresentando a análise das opções quanto as formas de automação, instrumentação, controle e exposição das melhores alternativas para a instalação do sistema proposto.

Palavras-chave: Automação. Controle. Alimentação de ureia. Produção de resinas.

ABSTRACT

MACHADO, Flávia Bonette. **Automation of the urea system - Arauco do Brasil.** 2019. 89 p. Monografia do Curso de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Presentation of the project for the enlargement of the urea system of the resin factory of Arauco do Brasil, focusing on automation. With the elimination of operations with big-bags of urea there is a significant reduction in the risks of accidents with elevation of loads. In addition, the automation in the dosing system provides the best process control and reduction of the probability of products outside the quality requirements, consequently, the environmental impacts related to the generation of effluents and waste disposal are reduced. The content contemplates from the contextualization of the scenario with the initial problem and opportunity, the survey of process information and technical information of the current system, presenting the analysis of the options regarding the forms of automation, instrumentation, control and exposure of the best alternatives for the installation of the proposed system.

Keywords: Automation. Control. Feeding of urea. Production of resins.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ampliação da capacidade de armazenamento e transporte de ureia a granel.....	14
Figura 2 – Pirâmide da automação industrial.....	22
Figura 3 – Controle de processos.....	23
Figura 4 – Medidor de nível tipo radar.....	30
Figura 5 – Sensor de nível tipo pá rotativa.....	31
Figura 6 – Dispositivo de pesagem tipo células de carga.....	33
Figura 7 – Válvulas de controle.....	34
Figura 8 – Válvulas solenoides.....	35
Figura 9 – Válvulas guilhotinas.....	37
Figura 10 – CPU 414-2, CPU 414-3 e CPU 414-3 PN/DP.....	39
Figura 11 – Sistema de controle de processos SIMATIC PCS 7.....	41
Figura 12 – Remotas SIMATIC ET 200 para SIMATIC PCS 7.....	43
Figura 13 – Camadas do modelo OSI.....	44
Figura 14 – Combinações de topologias PROFINET.....	46
Figura 15 – Aplicações para diferentes processos.....	47
Figura 16 – Fluxograma do sistema de ureia existente.....	48
Figura 17 – Vista frontal do sistema de ureia original.....	50
Figura 18 – Vista superior do sistema de ureia original.....	51
Figura 19 – Vista frontal do novo sistema de ureia.....	52
Figura 20 – Planta geral de alocação de equipamentos novos.....	53
Figura 21 – Vista superior do novo sistema de ureia.....	54
Figura 22 – Fluxograma do sistema de ureia geral.....	54
Figura 23 – Padrão de painel para remotas.....	61
Figura 24 – Slide válvula/solenoide/fim de curso.....	63
Figura 25 – Válvula direcional/solenoide/fim de curso - uma entrada, duas saídas..	64
Figura 26 – Válvula direcional/solenoide/fim de curso - uma entrada, três saídas....	65
Figura 27 – Indicador de peso com 3 células de carga.....	66
Figura 28 – Indicador de peso com 4 células de carga.....	66
Figura 29 – Analisadores de umidade.....	67
Figura 30 – Transmissores de nível tipo radar.....	68
Figura 31 – Chave de nível tipo pá rotativa.....	69
Figura 32 – Legenda para leitura das plantas de alocação.....	70
Figura 33 – Planta de locação de instrumentos, detalhe do teto dos silos.....	71
Figura 34 – Planta de locação de instrumentos, detalhe do piso térreo dos silos.....	71
Figura 35 – Planta de locação de instrumentos, detalhe do piso dos reatores.....	72
Figura 36 – Planta de alocação de instrumentos e encaminhamento de rede.....	73
Figura 37 – CCM-35: Localização do CLP.....	74
Figura 38 – Arquitetura de rede, comunicação das remotas.....	74
Figura 39 – Diagrama de alimentação 220 VCA das remotas.....	75
Figura 40 – Diagrama de alimentação 220 VCA da remota +4E.....	75

Figura 41 – Diagrama de alimentação 220 VCA da remota +5E.....	76
Figura 42 – Diagrama de alimentação 220 VCA da remota +6E.....	76
Figura 43 – Diagrama de interligação da remota +4E.....	77
Figura 44 – Diagrama de interligação da remota +4E.....	77
Figura 45 – Diagrama de interligação da remota +4E.....	78
Figura 46 – Diagrama de interligação da remota +5E.....	78
Figura 47 – Diagrama de interligação da remota +6E.....	79
Figura 48 – Diagrama de interligação da remota +6E.....	79
Figura 49 – Diagrama de interligação da remota +6E.....	80
Figura 50 – Diagrama de interligação da remota +6E.....	80
Figura 51 – Concepção final do sistema.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo médio mensal de ureia por reator	16
Tabela 2 – Letras de identificação ISA.....	26
Tabela 3 – Símbolos de equipamento e função de Instrumentação.....	27
Tabela 4 – Símbolos de linha: instrumento para processo e conexões	28
Tabela 5 – Símbolos de linha: conexões de instrumentos a instrumentos.....	28
Tabela 6 – Especificações técnicas CLP S7-414	40
Tabela 7 – Relação de equipamentos existentes.....	49
Tabela 8 – Relação de equipamentos novos	52
Tabela 9 – Relação de entradas e saídas analógicas e digitais.....	55
Tabela 10 – Resumo de necessidades	59
Tabela 11 – Distribuição de equipamentos por remotas.	60

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
CFU	<i>Compact Field Unit</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
FMCW	<i>Frequency Modulated Continuous Wave</i>
I/O	<i>Inputs e Outputs</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
ISA	<i>Instrument Society of America</i>
NRT	<i>Non Real Time</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
P&ID	<i>Piping and Instrumentation Diagram</i>
PI	<i>Profibus International</i>
PROFINET	<i>Process Field Network</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SDCD	Sistemas Digital de Controle Distribuído
VCA	Tensão em Corrente Alternada
VCC	Tensão em Corrente Contínua

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTO.....	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 PROCESSOS INDUSTRIAIS	21
2.2 INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE	24
2.2.1 Padrão de Identificação.....	25
2.2.2 Medição de Nível.....	29
2.2.3 Válvulas de Controle	33
2.2.4 Controlador Programável	37
2.2.5 Sistemas Híbridos de Controle.....	39
2.2.6 Protocolo PROFINET	44
3 DESENVOLVIMENTO DO TEMA	48
3.1 PROCESSO INDUSTRIAL	48
3.2 AUTOMAÇÃO E CONTROLE.....	55
3.3 INSTRUMENTAÇÃO DE PROCESSOS.....	62
3.4 ESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO	72
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS	84
APÊNDICE A – MATRIZ DE PRODUÇÃO DE RESINAS	87
APÊNDICE B – MAPEAMENTO DA PRODUÇÃO DE RESINAS	88
ANEXO A – PLANTA DE ALOCAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	89

1 INTRODUÇÃO

A automação é parte fundamental na cadeia de produção e se faz presente na grande maioria das indústrias de processos. A expansão da automação de processos teve início na década de 70 com o advento dos controladores lógicos programáveis (CLP). Os CLPs desempenham papel fundamental na automação permitindo realizar tarefas coordenadas em etapas, controlar inúmeros equipamentos simultaneamente, reduzir a variabilidade dos produtos finais, aumentar a eficiência e sobretudo a segurança nos processos em geral (ANTUNES; BOGO, 2018).

A Arauco S.A., companhia de capital chileno, é a maior companhia florestal do hemisfério sul, está situada em nove unidades no Brasil, entre administrativas, industriais e florestais. No Brasil, é especialista na fabricação de painéis em MDF e MDP elaborados com madeira de fontes sustentáveis. Em Araucária-PR¹, a Arauco do Brasil possui uma fábrica para produção de formaldeído e de resinas químicas, que podem ser resinas ureia-formaldeído e resinas melamínicas. Essas resinas são utilizadas internamente para a produção de painéis de madeira e também para impregnar papéis melamínicos para recobrimento das superfícies dos painéis produzidos, sendo que uma pequena parte desses produtos é comercializada no mercado externo.

Enquanto o processo de produção de formol é contínuo, o processo de produção de resinas é em bateladas, a entrada do processo em batelada é feita por quantidades discretas de modo descontínuo, o processo é alimentado, a operação é executada, o produto é descarregado e reinicia-se outro ciclo. A automação deve ser minuciosa, garantir a correta dosagem de matérias-primas e controle das reações químicas, e assim consequentemente a qualidade final do produto, para posteriormente estar apta a recomeçar o processo e configurar um produto diferente, utilizando diferentes insumos e passos de processamento.

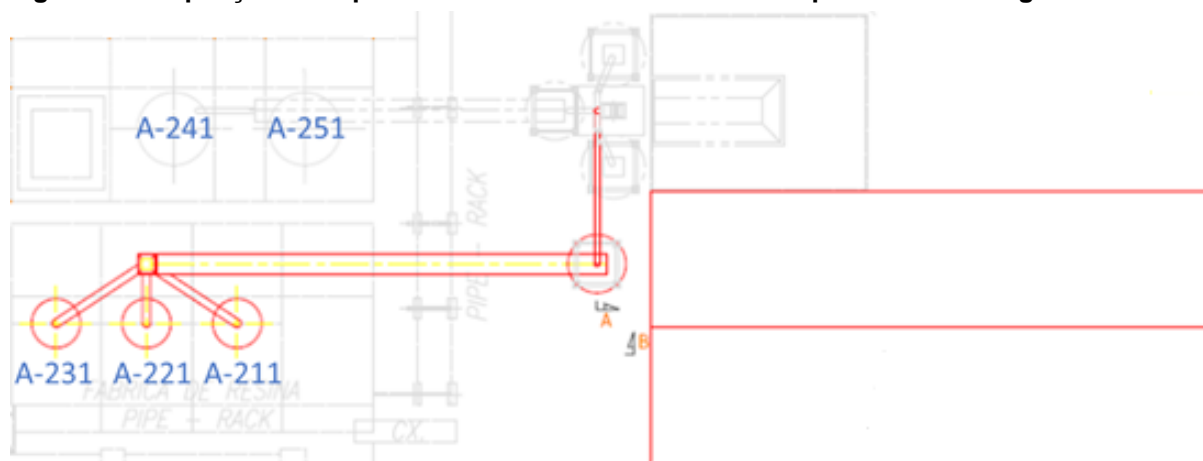
A essência de um sistema de controle de processo batelada operando corretamente é garantir que, baseado em uma receita, os equipamentos de controle do processo tenham o status apropriado ou a posição correta no tempo requerido

¹ Endereço: R. Luís Franceschi, 2045 - Thomaz Coelho, Araucária - PR, 83707-072.

para uma determinada duração de tempo durante o processo ou até que certos valores de parâmetros do processo sejam atingidos (RIBEIRO, 1999).

Para produção de uma batelada de resina, são utilizadas diversas matérias-primas, sendo que formol e ureia são proporcionalmente os mais consideráveis e base para todas as tecnologias produzidas, outros produtos são utilizados na receita e alguns são aplicados para controle da reação química, uma visão macro do processo é apresentada no Apêndice A – Matriz de produção de resinas e Apêndice B – Mapeamento da produção de resinas. A fábrica de resinas conta hoje com cinco reatores de produção de resinas, sendo dois alimentados por um sistema de transporte automático de ureia a granel e três alimentados por operação manual de ureia em *big-bags*. Com o intuito de eliminar o uso de *big-bags* para a carga de ureia nos reatores, considera-se a ampliação da capacidade de armazenamento e transporte de ureia a granel, conforme Figura 1, envolvendo a ampliação dos depósitos e periféricos para manipulação do produto, a instalação de um sistema de transporte, distribuição e dosagem de ureia para os reatores A-211, A-221 e A-231, e, além disso, a interligação com sistema de ureia que abastece os reatores A-241, A-251, funcionando como um sistema redundante.

Figura 1 – Ampliação da capacidade de armazenamento e transporte de ureia a granel



Fonte: Autoria própria.

Para automatizar o controle do processo, é vital e necessário instalar equipamentos e dispositivos em linha com o processo, para a medição e controle das variáveis de interesse e atuadores que possam ser acionados através de energia mecânica e elétrica sem a interferência do operador humano. Um sistema de controle automático deve ser capaz de monitorar e controlar o status ou estado

dos dispositivos do processo (RIBEIRO, 1999). Apresenta-se neste trabalho, o projeto para a ampliação do sistema de ureia em questão, com foco no sistema de automação.

1.1 CONTEXTO

Atualmente, para a alimentação de ureia aos reatores A-211, A-221 e A-231, utiliza-se ureia em *big-bags* de uma tonelada, operação considerada de alto risco devido à movimentação de cargas, envolvendo o manuseio com empilhadeiras e a elevação de cargas transportadas por meio de talha elétrica, além da necessidade de abertura da embalagem para dosagem de produto através da utilização manual de uma haste de corte. Somado a isso, como são utilizadas várias toneladas por batelada, ocorrem os tempos mortos entre as descargas dos *big-bags*, condição não ideal para o processo tendo em vista que há um tempo limite para que a carga de ureia seja realizada, e ainda, podem ocorrer erros em relação à quantidade adicionada na produção devido à operação manual e contabilização controlada pelo operador.

Outro ponto é um recente aumento na capacidade produtiva da empresa e com isso o aumento no consumo de ureia, reduzindo o tempo de estoque com o volume de armazenamento atual. Anteriormente, havia cobertura de estoque para um dia de consumo médio de ureia considerando os dois formatos de compra, os cálculos iniciais no projeto apontam para um novo cenário com consumo em torno de 35% maior, reduzindo a capacidade de cobertura do estoque para bem menos de um dia, situação crítica levando-se em consideração que não há recebimento de insumos nos finais de semana, porém a programação para produção permanece.

Na Tabela 1, é possível verificar as capacidades produtivas por reator e os consumos médios mensais de ureia anteriores e com a nova configuração, os valores expostos são apenas representativos para embasamento dos valores de projeto apresentados posteriormente.

Tabela 1 – Consumo médio mensal de ureia por reator

IDENTIFICAÇÃO DO REATOR	A-211	A-221	A-231	A-241	A-251
CAPACIDADE DE PRODUÇÃO	12 Ton	15 Ton	18 Ton	70 Ton	30 Ton
ALIMENTAÇÃO DE UREIA	Big bag	Big bag	Big bag	Granel	Granel
CONSUMO DE UREIA ANTERIOR	260 Ton	280 Ton	280 Ton	3800 Ton	- Ton
CONSUMO DE UREIA ATUAL	260 Ton	280 Ton	280 Ton	3800 Ton	1600 Ton

Fonte: Aatoria própria.

1.2 OBJETIVOS

O trabalho consiste na apresentação do projeto para a ampliação do sistema de ureia a granel, realizado pela equipe de Engenharia de Projetos da Arauco em parceria com a contratada para desenvolvimento da documentação, com o propósito de eliminar o uso de *big-bags*, ampliando a capacidade de armazenamento e distribuição de ureia para os reatores A-211, A-221 e A-231 e considerando a interligação com o sistema de ureia que abastece os reatores A-241 e A-251.

O projeto contempla a elaboração de projetos básicos e detalhados, envolvendo as disciplinas de processo, estruturas civis e metálicas, mecânica, elétrica, instrumentação e automação, partindo da avaliação das características técnicas do produto, com base no sistema de ureia já instalado para os reatores A-241 e A-251, que trabalha com ureia granel e possui capacidade de armazenamento de 190 toneladas e a partir de premissas iniciais definidas estrategicamente.

O trabalho tem como objetivo discorrer sobre os métodos adotados para a resolução do problema e a definição técnica projetada para implementação, com foco no que diz respeito à automação.

1.2.1 Objetivo Geral

As premissas básicas são aumentar a capacidade de estocagem de ureia granel na planta para aproximadamente dois dias de produção, totalizando 600 toneladas, proporcionar a alimentação dos diversos reatores por meio transportadores de maneira contínua e simultânea, suprir eventuais falhas na operação do sistema existente e contemplar um sistema de recirculação da ureia granel, de forma a se reduzir os efeitos da absorção de umidade pelo produto.

Na primeira fase o objetivo é determinar com precisão o escopo de implantação, com a elaboração de fluxogramas, especificação dos novos equipamentos, definição de cargas elétricas a serem adicionadas, instrumentação envolvida e consolidação do *layout* de equipamentos. A segunda fase visa, baseado no resultado da primeira, elaborar engenharia detalhada das disciplinas, com geração de documentos técnicos suficientes que permitam a aquisição de materiais e serviços.

Serão comentados os critérios de processo, padrões e normas, características do *site*, identificação de gargalos ou oportunidades de melhorias e descrição das modificações; fluxograma de engenharia ou *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID), que exibe os equipamentos e as interligações entre eles, instrumentação e malha de controle; lista de equipamentos, que indica a quantidade e descrição dos equipamentos com dados de projeto e folhas de dados de equipamentos que suportam o compra de eventuais novos equipamentos.

Tratando-se de instrumentação e automação, serão apresentadas as folhas de dados de instrumentos e válvulas; planta de locação de Instrumentos e detalhes de típicos de montagem; lista de entradas e saídas ou *Inputs e Outputs (I/O's)* e lista de malhas; diagramas de malhas, de interligação e de alimentação; lista de cabos e outros materiais de instrumentação.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar informações de consumo de ureia e características técnicas do sistema atual de alimentação de ureia;
- Identificar dificuldades e oportunidades de melhoria para implementação no novo sistema projetado;
- Delinear um pré-projeto de acordo com as premissas iniciais para atendimento das necessidades levantadas;
- Verificar as especificações dos equipamentos e validar os projetos para implantação da solução;
- Analisar as possíveis configurações de controle e avaliar as melhores aplicações para a ampliação do sistema proposto;
- Caracterizar os instrumentos a serem aplicados com base nos já utilizados para facilitar o controle de sobressalentes;

- Definir as estratégias de configuração do sistema de controle distribuído e arquitetura da rede;
- Descrever as aplicações, com detalhamento do sistema e equipamentos automação;
- Elaborar uma análise final de projeto, identificando os caminhos críticos da implantação.

1.3 JUSTIFICATIVA

O sistema será controlado através de um CLP e contará com vários equipamentos, fazendo a distribuição de ureia por meio dos elevadores de canecos, válvulas de desvio e transportadores de correia. A dosagem se dará através do silo balança e do transportador helicoidal, proporcionando uma dosagem precisa da quantidade de ureia para dentro dos reatores e eliminando completamente as atividades manuais. É importante considerar que será um sistema implantado em paralelo a um similar já operacional, sendo de grande importância a correta interface entre as mesmas.

Com a eliminação das operações com içamento de *big-bags* de ureia há uma redução significativa nos riscos de acidentes com elevação de cargas. Além disso, a automação no sistema de dosagem proporciona o melhor controle de processo e redução na probabilidade de destinação de produtos por estarem fora dos requisitos de qualidade. O projeto não somente possui relevância nos quesitos de segurança operacional, mas também reduz os impactos ambientais relacionados à geração de resíduos.

Os investimentos estimados ficam em torno de R\$ 2 milhões considerando projetos de engenharia, instalações civis e mecânicas, infraestrutura e instalações elétricas, aquisição de equipamentos e serviços gerais como guindastes, caminhões *muncks*, plataformas elevatórias, andaimes, comunicação, programação, comissionamento e *start up*. E o principal benefício econômico está na redução dos custos com a utilização de ureia a granel e devido ao aumento da capacidade de estoque, há também a redução de gastos atualmente com a estadia de caminhões em finais de semana e feriados, somados chegam perto de R\$ 600 mil por ano.

O projeto vai de encontro com o objetivo do curso, na direção do conhecimento das principais técnicas, ferramentas e métodos de especificação, desenvolvimento, análise e operação de sistemas de automação industrial, tais como: implementar sistemas de automação industrial; aplicar equipamentos e sistemas de controle de processos e instrumentação; utilizar equipamentos e sistemas de informática industrial. No decorrer do projeto, houve a construção e o avanço do conhecimento na área, estudo de aplicação real de equipamentos, tecnologias e melhores configurações praticáveis.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho contará com 5 (cinco) capítulos e terá a estrutura abaixo apresentada:

- Capítulo 1 – Introdução: capítulo atual em que são apresentados o tema, o problema, os objetivos da pesquisa, a justificativa e a estrutura geral do trabalho, para contextualização.
- Capítulo 2 – Fundamentação teórica: exposição de conteúdo teórico com base em referências bibliográficas dos temas relacionados com o desenvolvimento do projeto.
- Capítulo 3 – Desenvolvimento do tema: apresentação do desenvolvimento do projeto e explanação a respeito dos principais pontos de progresso e opções escolhidas para implementação.
- Capítulo 4 – Considerações finais: serão retomados os seus objetivos e apontado como foram solucionados. Além disto, são sugeridos trabalhos futuros que possam complementar o trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um projeto pode ser entendido como um conjunto de informações coletadas e processadas, de modo que simulem uma dada alternativa de investimento para testar sua viabilidade (WOILER; MATHIAS, 2015). O projeto de viabilidade é um projeto de estudo e análise, enquanto o projeto final constitui-se no grupo de informações em que a grande maioria dos parâmetros críticos para fase de implantação já se encontra definida e congelada.

No setor industrial, existem alguns aspectos que são comuns a todos os projetos, são relacionados e tornam difícil fazer a análise de cada aspecto separadamente para depois obter-se o conjunto. Além disso, o processo de elaboração e análise fica mais complicado no sentido de decisão sobre o investimento, pois as análises qualitativas, tendem a desempenhar papel muito mais importante do as análises quantitativas.

Uma vez definido que os processos determinados são praticáveis, os aspectos técnicos passam por uma abordagem econômico-financeira dentro da própria estrutura do projeto. Os elementos da parte técnica são muito importantes para definição das necessidades e constituem a base física da elaboração do cronograma físico e financeiro de implantação do projeto e das projeções de resultados.

Um projeto de automação industrial deve contemplar um descritivo com a concepção e fundamentos do processo, dos equipamentos característicos com seu funcionamento da instalação, uma matriz que mostre o inter-relacionamento entre os eventos e as ações, que devem ocorrer de forma automática e controlada pelo sistema, um fluxograma de engenharia, com as malhas de controle, indicações, alarmes e intertravamentos, explicitando as funções dos instrumentos e sua identificação, localização, tipo de sinal de controle, tipo da instrumentação de supervisão e válvulas de segurança e alívio. Memorial descritivo de automação, apresentando os requisitos funcionais de automação e controle, as interfaces previstas com outros sistemas, as lógicas típicas de controle e sequenciamento, a arquitetura de sistema de automação e controle, deve mostrar de forma simbólica os equipamentos principais do sistema, sua localização física e de que maneira se interligam, considerando os tipos de redes, os meios de comunicação e os

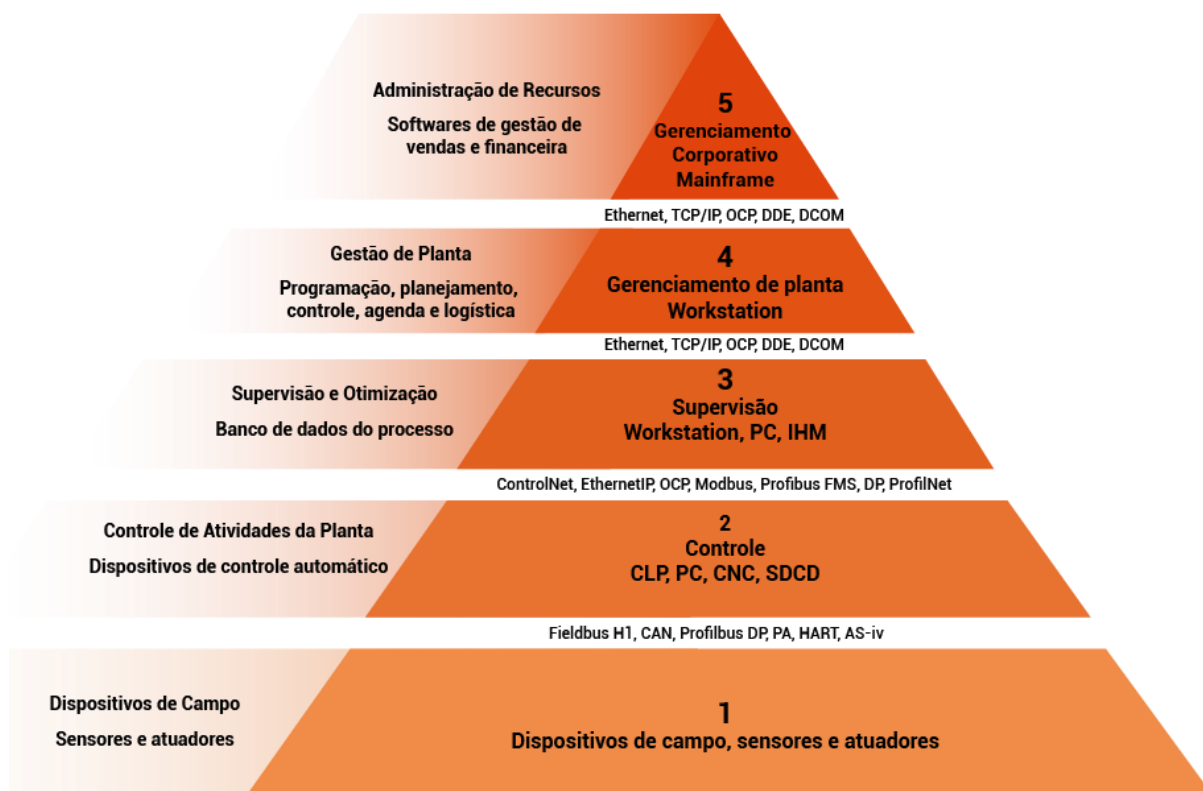
protocolos utilizados. Diagrama de controle de processo, apresentando detalhes das malhas de controle regulatório e sua interligação com outras malhas, descritivo de malhas de controle sobre o objetivo e forma de funcionamento das malhas, bem como as equações, parâmetros e algoritmos a serem ajustados nas funções envolvidas nestas malhas e listas de instrumentos com entradas e saídas analógicas e digitais no CLP.

2.1 PROCESSOS INDUSTRIAIS

Segundo a página virtual Instrumentação e Controle, um processo pode ser definido como um conjunto de operações realizadas por um determinado grupo de equipamentos, em que varia ao menos uma característica física ou química de um material para obtenção de um produto. Investimentos em inovação e modernização de equipamentos contribui para a eficiência de processos industriais, mas também pode ser alcançada com boas práticas de gestão de recursos e acompanhamento de performance. A Figura 2, representa de forma hierárquica os níveis de controle e trabalho em automação industrial. São eles:

- Nível 1 – Dispositivo de campo: Encontram-se neste nível elementos como atuadores, sensores, transmissores e outros componentes presentes.
- Nível 2 – Controle de atividades: Equipamentos que realizam o controle automatizado das atividades da planta, como CLP's (Controlador Lógico Programável), SDCD's (Sistema Digital de Controle Distribuído) e relés.
- Nível 3 – Supervisão e otimização do processo: Normalmente um banco de dados da planta dá suporte à operação com todas as informações relacionadas ao processo.
- Nível 4 – Gestão de planta: O quarto nível é responsável pela parte de programação e do planejamento da produção. Auxilia tanto no controle de processos industriais quanto também na logística de suprimentos.
- Nível 5 – Administração de recursos: Neste nível encontram-se softwares para gestão de venda, gestão financeira e inteligência de negócio. Todas as decisões administrativas deste nível devem estar baseadas na avaliação de cada um dos demais níveis da pirâmide.

Figura 2 – Pirâmide da automação industrial



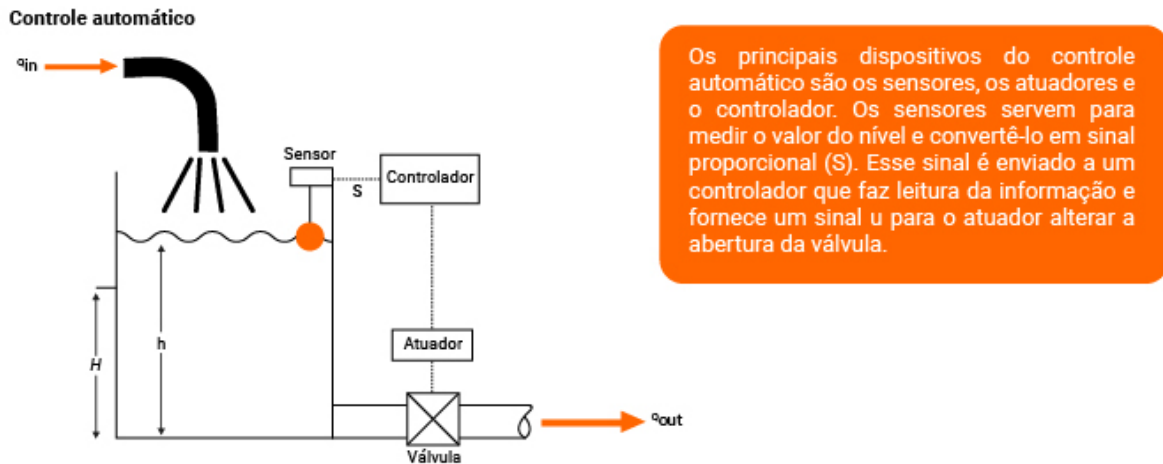
Fonte: Roure (2018a).

Os processos industriais são variados, englobam diversos tipos de métodos e exigem controle preciso dos produtos gerados. Todos esses processos são indispensáveis para se controlar e manter constantes as principais variáveis, tais como pressão, nível, vazão, temperatura, pH, condutividade, velocidade, unidade, etc. Os instrumentos de medição e controle permitem manter e controlar as variáveis em condições mais adequadas e precisas do que se elas fossem controladas manualmente. Os sistemas de controle mantêm a variável controlada no valor especificado comparando o valor da variável medida com valor desejado, fazendo as correções em função do desvio existente entre esses dois valores sem a necessidade de intervenção do operador.

A automação industrial está preocupada com o aperfeiçoamento do desempenho dos processos industriais. Quando se fala em controle, deve-se entender a medição de uma variável qualquer do processo e a sua atuação no sentido de mantê-la constante, a informação recebida pelo controlador é comparada com um valor preestabelecido, conforme esquema representado na Figura 3. Verifica-se a diferença entre ambos e age-se para diminuir ao máximo essa

diferença. Essa sequência de operações caracterizam a chamada malha de controle, dividida em controles de malha aberta e malha fechada, com realimentação, na qual a variável de saída é realimentada ao controlador. Este compara o nível da saída com o valor de referência definido e atua em função da diferença até que o valor da saída alcance o valor desejado.

Figura 3 – Controle de processos



Fonte: Roure (2018b).

Os sistemas de controle de processos podem ser classificados da seguinte forma (GUTIERREZ; PAN, 2018):

- Discretos: Referentes à fabricação de produtos ou peças que podem ser contados como unidades individuais e na qual predominam as atividades discretas. São exemplos desse tipo de processo a produção de placas de metal estampadas, de automóveis, aviões, bens de capital, brinquedos, eletroeletrônicos, computadores, vestuário, tijolos, pneus e calçados.
- Bateladas: Relativos a bens cuja produção requer que determinadas quantidades de matérias-primas sejam combinadas de forma apropriada durante um dado período. Apesar de descontínuos, tais processos têm natureza contínua durante o período de atividade. São exemplos a fabricação de colas ou de alimentos, em que a mistura de insumos, em proporções calculadas, precisa ser mantida aquecida durante um tempo preestabelecido.
- Contínuos: Referentes a sistemas em que as variáveis precisam ser monitoradas e controladas ininterruptamente. É o caso, por exemplo, de siderúrgicas, da produção de combustíveis, gás natural, produtos químicos, plásticos, papel e celulose, cimento e açúcar e álcool.

2.2 INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

Nas instalações industriais os instrumentos podem ser classificados como como instrumentos cegos; indicadores; registradores; elementos primários que estão em contato direto com a variável medida e controlada; transmissores que detectam as variações na variável medida e controlada através do respectivo elemento primário e transmitem a informação; conversores que recebem o sinal de entrada padrão, pneumática ou eletrônico procedente de um outro instrumento convertendo em um sinal de saída padrão; controladores que comparam o valor da variável medida ou controlada com o valor desejado e exercem ação de correção na variável manipulada, função da diferença entre estes dois valores e da sua equação de controle; ou elementos finais de controle que recebem o sinal de correção do controlador e modificam atuando sobre a variável manipulada ou um agente de controle (BEGA et al., 2011).

A variável de processo é uma grandeza física que altera seu valor em função de outras variáveis e principalmente em relação ao tempo. Antes de ser controlada, uma variável deve ser medida, dentro de uma classe de precisão requerida pelo processo. Em sistema de controle automático, o sinal medido é contínua e automaticamente comparado com um valor de referência e este erro é usado como função de controle, sem a interferência do operador humano. Em um processo industrial típico, mais de 90% das medições envolvem apenas quatro variáveis: pressão, temperatura, vazão e nível. As outras variáveis menos comuns incluem: posição, condutividade, densidade, análise, pH e vibração (RIBEIRO, 1999).

A instrumentação e controle de processos utiliza a terminologia própria, faixa de medição ou *range*, o conjunto de valores da variável medida controlada que estão compreendidos dentro dos limites superior e inferior de capacidade de medição transmissão ou controle do instrumento; alcance ou *span*, a diferença algébrica entre os valores superior e inferior da faixa de medição do instrumento; erro ou *offset*, a diferença entre o valor do ponto de ajuste ou *set point* e o ponto medido da variável controlada, se o processo estiver em condições de regime permanente existe o erro estático, em condições dinâmicas há o erro dinâmico que é a diferença entre o valor instantâneo da variável medida e o valor indicado ou transmitido pelo instrumento, o erro médio do instrumento é a média aritmética dos erros em cada ponto; ponto de ajuste ou *set point* é o ponto no qual o controlador é ajustado para controlar o

processo; precisão ou *accuracy* é a tolerância de medição ou transmissão do instrumento definir o limite dos erros cometidos quando o instrumento é utilizado em condições normais de serviço; sensibilidade ou *sensitivity* é o valor mínimo que a variável deve mudar para obter-se uma variação da indicação ou transmissão; repetibilidade ou *repeatability* é a capacidade de reprodução da indicação ou transmissão ao se medir repetidamente valores idênticos da variável medida nas mesmas condições de operação e no mesmo sentido da variação; histerese ou *hysteresis* é diferença máxima que se observa nos valores indicados pelo instrumento para um valor qualquer da faixa de medida quando a variável percorre toda a escala tanto no sentido crescente como decrescente; elevação de zero é a quantidade com que o valor zero da variável supera o valor inferior da faixa de medida; supressão de zero é a quantidade com que o valor inferior de faixa de medida supera o valor zero da variável (BEGA et al., 2011).

2.2.1 Padrão de Identificação

São também padronizadas as identificações e símbolos de instrumentos a codificação mais utilizada é a padronizada da Norma 5.1 da *Instrument Society of America* (ISA), esta considera que cada instrumento ou função programada será identificada por um conjunto de letras de um conjunto de números, como verifica-se na Tabela 2. A primeira letra do conjunto de letras indica a variável medida controlada e as letras subsequentes indicam a função que o instrumento desempenha na malha de controle. O primeiro conjunto de números indica a área ou fábrica e o segundo indica a malha a qual instrumento ou função programada pertence eventualmente para completar a identificação pode ser acrescido o sufixo.





















Em uma malha a primeira letra de identificação funcional é selecionada de acordo com a variável medida controlada e não de acordo com a variável manipulada. Adicionalmente a identificação funcional de um instrumento é feita de acordo com a função por ele é deputado e não de acordo com a sua construção ou tecnologia utilizada no instrumento, conforme Tabela 3. Segundo a padronização, na elaboração de um diagrama de controle, a identificação do instrumento será escrita dentro dos símbolos geral e que em casos específicos a sua função será detalhada pelo acréscimo de um símbolo de processamento de sinais aos seus símbolos geral.

Tabela 2 – Letras de identificação ISA

	Primeiras Letras (1)		Letras sucessivas (15)		
	Coluna 1 Variável Medida/ Inicializada	Coluna 2 Modificador Variável (10)	Coluna 3 Função Leitura/ Passiva	Coluna 4 Função Saída/ Ativa	Coluna 5 Modificador Função
A	Análise (2)(3)(4)		Alarme		
B	Queimador, Combustão (2)		Escolha do Usuário (5)	Escolha do Usuário (5)	Escolha do Usuário (5)
C	Escolha do Usuário (3a)(5)			Controle (23a)(23e)	Fechado (close) (27b)
D	Escolha do Usuário (3a)(5)	Diferença, Diferencial (11a)(12a)			Desvio (28)
E	Tensão elétrica (2)		Sensor, Elemento Primário		
F	Vazão (<i>flow</i>) (2)	Relação, Fração (12b)			
G	Escolha do Usuário		Visor, Gauge, Dispositivo de visualização (16)		
H	Manual (<i>hand</i>) (2)				Alto (27a)(28a) (29)
I	Corrente elétrica (2)		Indicar (17)		
J	Potência (2)	Varredura (<i>scan</i>) (18)			
K	Tempo, <i>Schedule</i> (2)	Taxa de variação (12c)(13)		Estação de controle (24)	
L	Nível (<i>level</i>) (2)		Lâmpada (19)		Baixo (27b)(28)(29)
M	Escolha do Usuário (3a)(5)				Médio, intermediário (27c)(28)(29)
N	Escolha do Usuário (5)		Escolha do Usuário (5)	Escolha do Usuário (5)	Escolha do Usuário (5)
O	Escolha do Usuário (5)		Orifício, restrição		Aberto (27a)
P	Pressão (2)		Ponto (conexão de teste)		
Q	Quantidade (2)	Integrar, Totalizar (11b)	Integrar, Totalizar		
R	Radiação (2)		Registrar (20)		Rodar
S	Velocidade, frequência (2)	Segurança (14)		Chave (23b)	Parar
T	Temperatura (2)			Transmitir	
U	Multivariável (2)(6)		Multifunção (21)	Multifunção (21)	
V	Vibração, Análise Mecânica (2)(4)(7)			Válvula, <i>dumper</i> , basculante (23c)(23e)	
W	Peso, Força (2)		Poço (<i>well</i>), Probe		
X	Não classificado (8)	Eixo X (11c)	Equipamentos acessórios (22), Não classificado (8)	Não classificado (8)	Não classificado (8)
Y	Evento, Estado, Presença (2)(9)	Eixo Y (11c)		Equipamentos Auxiliares (23d)(25)(26)	
Z	Posição, Dimensão (2)	Eixo Z (11c), Sistema Instrumentado de Segurança (30)		<i>Driver</i> , Atuador, Elemento final de controle não classificado	

Fonte: ISA (2009).

Tabela 3 – Símbolos de equipamento e função de Instrumentação






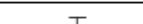



No.	Display compartilhado, controle compartilhado (1)(4)		C	D	Local e acessibilidade (7)
	A	B			
	Escolha principal ou Sistema de Controle Básico de Processo (2)	Escolha alternativa ou Sistema Instrumentado de Segurança (3)	Computador Sistemas e Software (5)	Discreto (6)	
1					<ul style="list-style-type: none"> • Localizado no campo. • Não montado em painel, gabinete ou console. • Visível no local do campo. • Normalmente acessível ao operador.
2					<ul style="list-style-type: none"> • Localizado no ou em frente do painel ou console central. • Visível no painel frontal ou no display de vídeo. • Normalmente acessível ao operador no painel ou console central.
3					<ul style="list-style-type: none"> • Localizado atrás do painel central ou principal. • Localizado em painel atrás do gabinete. • Não visível na frente do painel ou do display de vídeo. • Normalmente não acessível ao operador no painel ou console.
4					<ul style="list-style-type: none"> • Localizado no ou em frente do painel ou console secundário ou local. • Visível em frente do painel ou no display de vídeo. • Normalmente acessível ao operador na frente do painel ou do console.
5					<ul style="list-style-type: none"> • Localizado atrás do painel secundário ou local. • Localizado em gabinete de campo. • Não visível na frente do painel ou do display de vídeo. • Normalmente não acessível ao operador no painel ou no console.

Fonte: ISA (2009).

O número de letras não deve ultrapassar quatro e não é obrigatório identificar todos os elementos de uma malha, elementos primários podem ser omitidos para se representar os instrumentos mais importantes.


















Como observa-se nas Tabela 4 e Tabela 5, as normas da ANSI/ISA S5.1 à S5.5 servem de base para a norma brasileira NBR 8190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que apresenta e sugere o uso de símbolos gráficos para representação dos diversos instrumentos e de suas funções nas malhas de instrumentos. No entanto, como é dada a liberdade para cada empresa estabelecer a norma a ser seguida na elaboração dos seus diversos documentos de projeto de instrumentação outras são utilizadas, dependendo do adotado padrão pelas companhias.

Tabela 4 – Símbolos de linha: instrumento para processo e conexões

No.	Símbolo	Aplicação
1		<ul style="list-style-type: none"> • Conexões do instrumento para processo e equipamento. • Linhas de impulso do processo. • Linhas de amostra do analisador.
2		<ul style="list-style-type: none"> • Linha para injetar calor (frio) ou linha de amostra de processo. • Tipo de injeção indicada por: [ET] elétrica, [ST] vapor, [CW] água fria etc.
3		<ul style="list-style-type: none"> • Conexão genérica do instrumento para linha de processo. • Conexão genérica do instrumento para equipamento.
4		<ul style="list-style-type: none"> • Linhas de impulso do instrumento genérico para injetar calor (frio). • Linha do processo ou equipamento pode ser tracejada ou não.
5		<ul style="list-style-type: none"> • Instrumento com injeção de calor (frio). • Linha de impulso do instrumento pode ser tracejada ou não.
6		<ul style="list-style-type: none"> • Conexão flangeada do instrumento para linha de processo. • Conexão flangeada do instrumento para equipamento.
7		<ul style="list-style-type: none"> • Conexão rosqueada do instrumento para linha de processo. • Conexão rosqueada do instrumento para equipamento.
8		<ul style="list-style-type: none"> • Conexão soldada com soquete do instrumento para linha de processo. • Conexão soldada com soquete do instrumento para equipamento.
9		<ul style="list-style-type: none"> • Conexão soldada do instrumento para linha de processo. • Conexão soldada do instrumento para equipamento.

Fonte: ISA (2009).

Tabela 5 – Símbolos de linha: conexões de instrumentos a instrumentos

No.	Símbolo	Aplicação
1	(1) IA 	<ul style="list-style-type: none"> • IA (Ar instrumento) pode ser substituído por PA (Ar planta), NS (nitrogênio) ou GS (Alimentação gás). • Indicar pressão de alimentação quando requerido, por exemplo, PA-70 kPa, NS-150 psig etc.
2	(1) ES 	<ul style="list-style-type: none"> • Fonte a alimentação de instrumento elétrico. • Indicar tensão e tipo quando requerido, por exemplo, ES-220 VAC. • ES pode ser substituído por 24VDC ou 120VAC.
3	(1) HS 	<ul style="list-style-type: none"> • Fonte a alimentação de instrumento hidráulico. • Indicar pressão de alimentação quando requerido, por exemplo, HS-70 kPa.
4	(2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sinal indefinido. • Usar para fluxograma de processo. • Usar para discussões ou diagramas onde o tipo do sinal não interessa.
5	(2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sinal pneumático analógico (variando continuamente) ou binário
6	(2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sinal eletrônico ou elétrico analógico (variando continuamente) ou binário. • Sinal binário em diagrama funcional.
7	(2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sinal analógico (variando continuamente) para diagrama funcional. • Sinal e linhas de alimentação do diagrama ladder de esquema elétrico.
8	(2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sinal hidráulico.
9	(2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Tubo capilar do elemento de enchimento termal. • Linha sensora cheia entre selo de pressão e instrumento.
10	(2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sinal eletromagnético guiado. • Sinal sônico guiado. • Cabo de fibra óptica.
11	(3) a)  b) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sinal eletromagnético não guiado, luz, radiação, rádio, som, sem fio etc. • Sinal de instrumento sem fio. • Link de comunicação sem fio.
12	(4) 	<ul style="list-style-type: none"> • Link de comunicação e barramento (bus) do sistema entre equipamentos e funções de um display compartilhado, sistema de controle compartilhado. • Link de comunicação e barramento de DCS, PLS, PC ou CCS.
13	(5) 	<ul style="list-style-type: none"> • Link de comunicação e barramento (bus) conectando dois ou mais sistemas independentes baseados em microprocessador ou computador. • Conexões DCS para DCS, DCS para PLC, PLC para PC, DCS para Fieldbus etc.
14	(6) 	<ul style="list-style-type: none"> • Link de comunicação e barramento (bus) entre equipamentos e funções de sistemas de barramento de campo. • Link de e para equipamentos "inteligentes".
15	(7) 	<ul style="list-style-type: none"> • Link de comunicação entre um equipamento e um sistema ou dispositivo de ajuste de calibração remota. • Link de e para equipamentos "smart".
16		<ul style="list-style-type: none"> • Link ou conexão mecânica.

Fonte: ISA (2009).

2.2.2 Medição de Nível

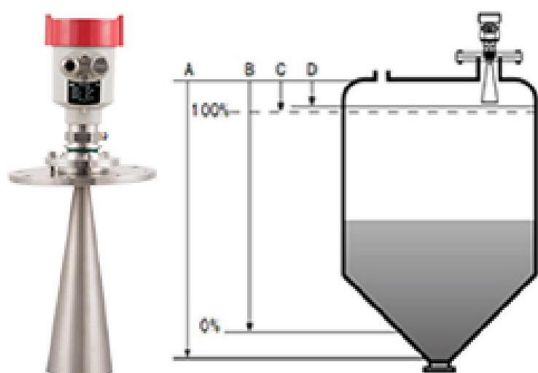
A variável de processo mais relacionada com o caso em questão e amplamente utilizada em aplicações industriais é a medição de nível, definida como a determinação da posição de uma interface entre dois meios. Podem ser líquidos, sólidos ou a combinação de um sólido e um líquido e a interface pode ser entre um líquido e um gás ou vapor, dois líquidos, ou entre um sólido e um gás. Há uma grande variedade de sistemas de medição de nível, a escolha deve considerar as características específicas da aplicação o tipo de produto cujo nível se quer medir, a precisão desejada, custos e demais restrições existentes dependendo da aplicação.

Os instrumentos de medição de nível podem ser classificados em instrumentos de medida direta e inferencial. Os instrumentos de medida direta medem diretamente a distância entre o nível do produto que se quer medir e um referencial previamente definido, a medida dessa distância pode ser feita pela observação visual direta através de comparação com uma escala graduada ou pela determinação da posição de um detector comum flutuador sobre a superfície do produto que se quer medir ou pela reflexão de ondas ultrassônicas ou eletromagnética pela superfície do produto. Os instrumentos de medida inferencial determinam a posição da superfície livre do produto cujo nível se quer medir através da medida de outra grandeza física relacionada, nesta classe incluem-se os instrumentos que medem o nível através da medida da pressão da coluna hidrostática desenvolvida por um líquido ou ainda os que medem através da variação de peso do equipamento que contém o produto cujo nível se quer medir (BEGA et al., 2011). Os instrumentos de medição de nível podem também ser classificados pela função que o instrumento desempenha na malha, como visto anteriormente, como indicadores, transmissores, controladores e chave de nível.

Os dispositivos do tipo radar, são instalados no topo do tanque ou silos e emitem ondas eletromagnéticas curtas com frequência na faixa de 5 a 25 GHz e que se propagam com a mesma velocidade que a luz (300.000 km/s). O sinal eletromagnético emitido pela antena é refletido ao incidir perpendicularmente sobre a superfície de um líquido ou sólido com constante dielétrica diferente do meio gasoso existente acima do produto. O sinal refletido é captado pela própria antena emissora e é utilizado na medição do nível do conteúdo existente (BEGA et al., 2011).

Os dispositivos do tipo radar, como o modelo da Figura 4, podem operar com base no tempo decorrido entre a emissão e a recepção da onda refletida ou podem operar com base na diferença de frequência entre a onda emitida e a onda refletida, é o chamado método *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW), ou modulação contínua de frequência de onda. No caso dos dispositivos que operam com base no tempo decorrido entre a emissão e a recepção da onda refletida, o equipamento funciona de maneira semelhante a utilizada pelos dispositivos do tipo ultrassônico, operando com pulsos curtos de radar com frequência de cerca de 6 GHz, este tipo de medidor é utilizado em medições rotineiras de nível não sendo utilizado para operações de venda e transferência de produtos. Os dispositivos do tipo radar que operam com base no método de variação de frequência utilizam o sinal de alta frequência cerca de 10 GHz modulado linearmente em frequência. Seu funcionamento baseia-se na diferença de frequência entre o sinal emitido e o sinal refletido pela superfície do material cujo nível está sendo medido. Neste método, a frequência do sinal de transmissão é aumentada ou diminuída linearmente durante um tempo determinado. Devido ao atraso de tempo decorrido durante a propagação do sinal, a frequência de transmissão varia de modo que se encontrando a diferença entre a frequência do sinal emitido e a frequência do sinal recebido em um determinado momento, a obtenção sinal é de baixa frequência e da ordem de poucos quilos KHz. A diferença da frequência do sinal obtido fazendo-se a diferença entre o sinal emitido e o recebido é proporcional à distância até a superfície do líquido ou sólido e é utilizada para fornecer uma medida bastante precisa do nível de existente no tanque ou silo podendo ser adotado para operações de venda ou transferência de produto (BEGA et al., 2011).

Figura 4 – Medidor de nível tipo radar



Fonte: Holykell (2018).

As chaves de nível são dispositivos utilizados para atuar em determinados pontos fixos de nível, os quais uma vez alcançados exigem o desencadeamento de alguma ação necessária para a boa operação ou a segurança do sistema. Chaves de nível fornecem como saída somente um entre dois estados: energizado e desenergizado para chaves elétricas ou pressurizado e despressurizado para chaves hidráulicas ou pneumáticas. São compostas de duas partes detector de nível e circuito de saída, o detector que está montado no equipamento cujo nível está sendo monitorado e se encarrega de informar ao circuito de saída a presença ou ausência do nível em determinada posição e o circuito se encarrega de mudar o estado de saída da chave com essa informação (BEGA et al., 2011).

As chaves de nível do tipo pás rotativas, conforme Figura 5, são aplicadas basicamente para monitoração e controle de nível em silos ou equipamentos contendo produtos granulados, como a ureia. São constituídas basicamente por um eixo vertical, dotado de palhetas, que são acionados por um motor síncrono e giram continuamente em baixa rotação. Quando o movimento é submetido a resistência do material do silo, indicando assim a presença de material junto as pás, o invólucro ou corpo do motor tenderá girar em sentido contrário e esta reação produzirá uma força que acionará a duas micro chaves, a primeira atua como dispositivo de alarme e a segunda desenergisa um motor síncrono. Quando o nível do produto deixa as fases livres de qualquer resistência, uma mola fará com que o conjunto e as micro chaves retorne à posição original, repetindo-se então um novo ciclo (BEGA et al., 2011).

Figura 5 – Sensor de nível tipo pá rotativa



Fonte: Exsto (2013).

As chaves de nível do tipo pás rotativas tem seu eixo montado sobre rolamentos esféricos, de forma a garantir baixo atrito durante a rotação das pás. O eixo e os rolamentos são protegidos por selos de teflon comprimidos por molas,

garantindo assim estanqueidade a umidade e pó ao mecanismo interno. As pás são normalmente fabricadas de aço carbono revestido com vinil, mas também disponíveis em aço inoxidável, revestidas ou não com vinil. Estas chaves de nível podem ser utilizadas em quase todos os tipos de grânulos, usualmente são montadas no topo do silo estendendo-se o eixo até o ponto onde se deseja monitorar o nível. Para detecção de nível baixo utiliza-se uma placa de deflexão soldada junto as partes, de forma a protegê-las de impactos com as partículas de produto quando na operação de carga e da força de arraste quando na operação de descarga (BEGA et al., 2011).

O nível de um produto sólido também pode ser obtido através da pesagem total do tanque e silos subtraindo-se da pesagem total o peso do silo quando completamente vazio. Os transmissores contínuos de nível do tipo pesagem fornecem continuamente o peso dos silos desde zero até o fim da escala. Plantas modernas e automatizadas envolvendo manuseio de sólidos com sistemas de controle que requeiram uma série de sinais para o controle de transportadores e o alimentadores, é essencial a utilização de transmissores contínuos de nível do tipo pesagem em aplicações envolvendo inventário de produtos estocados na forma de volume ou peso (BEGA et al., 2011).

Os dispositivos do tipo pesagem são construídos tendo como elemento de medição as células de carga, que são estruturas especiais de medição, construídas à base de dispositivo do tipo *strain gage* e projetadas de forma a produzir um sinal elétrico proporcional à carga depositada sobre ela. Geralmente são montadas embaixo do suporte de um tanque, o peso do equipamento depositado sobre a célula de carga produz mudanças nas características dos *strain gages* que constituem a estrutura da célula de carga. A estrutura interna e externa da célula de carga é constituída por vários *strain gages* distribuídos de forma a permitir vários graus de sensibilidade e linearidade. São fixados a um tubo de torque, que se deforma de acordo com o peso do tanque o silo, cujo nível se deseja medir. Essa deformação produz variações no valor das resistências dos *strain gages* as quais são relacionadas com o nível do peso do tanque ou silo (BEGA et al., 2011).

Qualquer que seja a direção do efeito de deformação ocasionado pelo peso do tanque auxílio este tubo de torque dará como resultante o mesmo sinal de saída, pois a instalação do dispositivo do tipo pesagem é feita de forma que sempre haja

um *strain gage* sobre tensão. As células de carga são desenhadas para aceitar somente forças verticais que representem o peso a elas aplicado, uma vez que as forças horizontais constituem o principal motivo de erro de medição em dispositivos do tipo pesagem (BEGA et al., 2011).

Representadas na Figura 6, as células de carga utilizadas em sistemas do tipo pesagem são protegidas por blindagem de aço inoxidável, sendo fornecidas completamente encapsuladas para proteção adequada contra pó umidade e produtos corrosivos, viabilizando sua instalação nas mais severas condições ambientais. Alguns fabricantes fornecem células de carga com proteções especiais contra variações de temperatura. O número de células de carga a ser utilizado em uma pesagem dependerá diretamente da precisão necessária a medida. Este número poderá variar de uma a doze células dispostas quando em número maior que duas, obrigatoriamente em forma geométrica regular interligadas em série e ligadas a uma unidade eletrônica integrador ou transmissor (BEGA et al., 2011).

Figura 6 – Dispositivo de pesagem tipo células de carga



Fonte: SPS (2019).

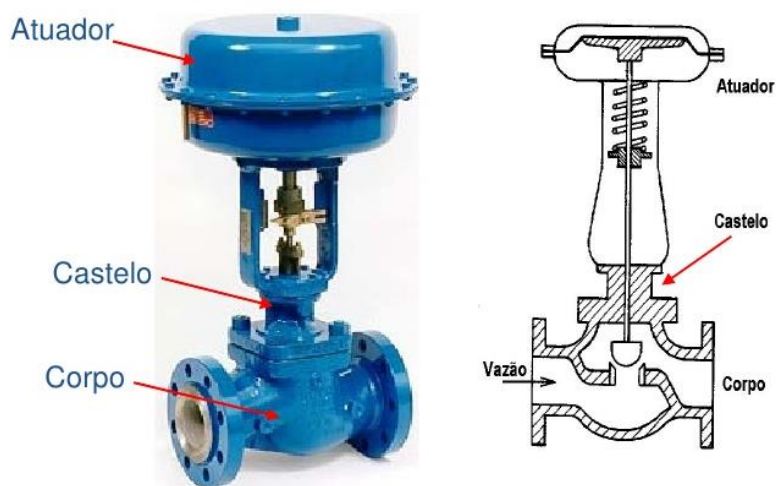
2.2.3 Válvulas de Controle

A válvula de controle desempenha um papel muito importante no controle automático de processos industriais que dependem na correta distribuição e controle de líquidos, gases e vapores. Os elementos finais de controle que tem na válvula seu principal representante são os responsáveis pela manipulação do fluxo de matéria ou energia que tem como finalidade atuar no processo de modo a corrigir o

valor da variável controlada sempre que houver algum desvio em relação ao valor desejado. Outros elementos finais de controle podem ser bombas dosadoras, *dumpers* e *louvers*, hélices de passo variável, motores com variadores de velocidade, entre outros (BEGA et al., 2011).

Na maioria dos casos, a válvula de controle é o componente mais sujeito a condições severas de pressão, temperatura, corrosão e ainda assim deve operar de modo satisfatório para não comprometer o controle da variável em consideração. Uma válvula de controle funciona como uma resistência variável na tubulação e se divide basicamente em três partes atuador, corpo e internos, castelo e engaxetamento, como pode-se verificar na Figura 7.

Figura 7 – Válvulas de controle



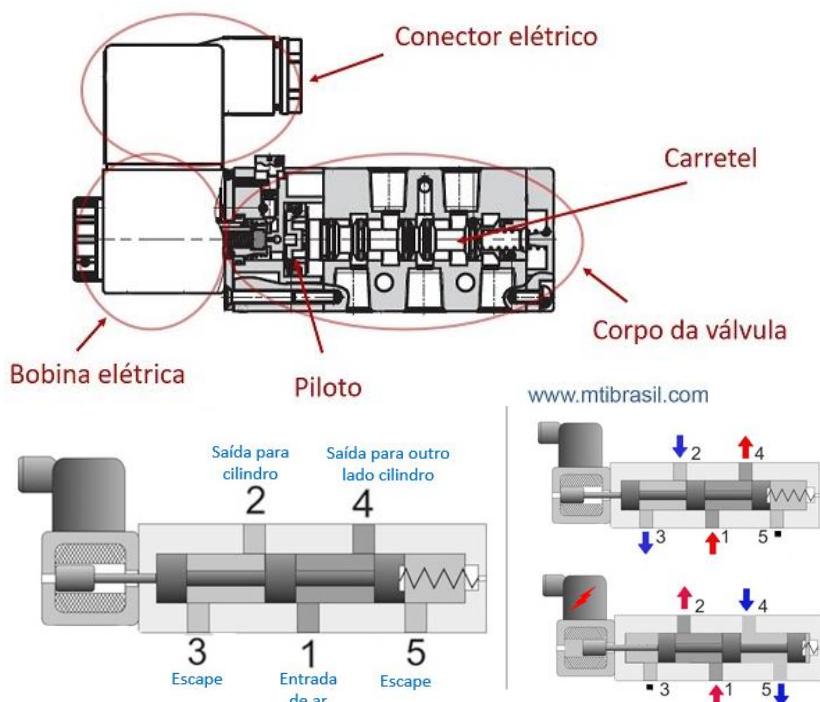
Fonte: Alvarez (2012).

Existem atuadores do tipo mola e diafragma, e além disso, existem também atuadores pneumáticos bastante aplicados em indústrias de processo para controle e principalmente bloqueio de fluxo são os atuadores a pistão. Esses saturadores destinam-se normalmente a bloqueio de fluxo por questões de segurança de processo e de equipamentos, sendo que a válvula pode assumir neste caso a posição aberta ou fechada. A mola é instalada numa câmara oposta ao compartimento onde é injetado ar de acionamento, de modo que na falha de alimentação pneumática, a mola leva o atuador e conseqüentemente a válvula para a posição desejada. Esses atuadores tem uma certa restrição quanto a pressão na tubulação é muito elevada, uma vez que a moda deve ser muito robusta para conseguir vencer a resistência do escoamento. Além disso, a mola em algumas

aplicações opera durante um bom período na posição comprimida pelo ar da câmara, fazendo com que sua força de acionamento seja reduzida podendo eventualmente influir na estanqueidade da válvula (BEGA et al., 2011).

Para contornar essas situações utilizam-se alternativamente os atuadores pneumáticos do tipo cilindro de dupla ação, onde o ar comprimido atua em duas câmaras opostas, incidindo de forma alternada num e no outro compartimento, a posição da válvula pode abrir ou fechar. Tanto no caso dos atuadores pneumáticos do tipo pistão com retorno por mola, como no cilindro de dupla ação, o comando para mudança na posição da válvula se efetiva através de uma válvula acionada por uma solenoide instalada na linha de ar para o atuador. Estas válvulas solenoides são também conhecidas como válvulas pilotos e podem ser de 3, 4 ou 5 vias. No caso de válvulas acionadas por atuadores do tipo retorno por mola, as solenoides piloto utilizadas são de três vias. Para comando de atuadores do tipo cilindro de dupla ação as válvulas solenoides normalmente aplicadas são as de 4 vias, podendo também ser 5 vias, como na Figura 8 (BEGA et al., 2011).

Figura 8 – Válvulas solenoides



Fonte: MTI (2019).

Tratando da posição de falha desejada, dependendo dos requisitos de operação e principalmente de segurança do processo, as válvulas podem assumir a posição fechada, aberta ou ainda permanecerem na última posição antes da falha

de energia ou fluido de comando que normalmente a ar comprimido. O comando da solenoide é elétrico, normalmente vindo do sistema de intertravamento da planta, o qual energisa ou desenergisa a solenoide dependendo da especificação da ação da mesma (BEGA et al., 2011).

As válvulas de controle podem do tipo globo de sede simples ou sede dupla aplicáveis em casos de fluídos limpos que poderiam danificar interior da válvula comprometendo seu fechamento; válvulas esfera, utilizadas em serviços de bloqueio *shut off* em sua origem e atualmente um dos tipos mais aplicados em indústrias que manipulam fluídos denominados sujos; as válvulas de borboleta, que são restritores compostos de um disco basculante no eixo o qual obstrui uma seção de tubulação, utilizadas em serviços de baixa pressão normalmente encontrados em operação com água em sua origem, hoje aplicadas em altas perdas de carga, vedação estanque e fluidos corrosivos (BEGA et al., 2011).

As válvulas de controle mais utilizadas na maioria das aplicações industriais são as globo, esfera e borboleta, porém existem válvulas especiais para aplicações específicas, como as válvulas tipo diafragma, constituída basicamente do corpo e de um diafragma elástico que se movem em direção a uma veia, produzindo assentamento da válvula, principalmente aplicadas para manipulação de químicos como ácidos e hidróxidos muito corrosivos e fluídos passíveis de cristalização e contendo sólidos em suspensão; as válvulas macho, com menor aplicação mas encontram aplicações e alguns problemas específicos de controle como escoamento de gases, líquidos e lamas não abrasivas, não são muito utilizadas em serviços que exigem boa característica de controle modulante, são mais utilizadas em aplicações como válvulas de bloqueio *on/off*, e por fim as válvulas tipo guilhotina ou *sliding gate*, que utiliza um meio básico de se variar a restrição a um escoamento, que é deslizar uma placa através de uma abertura normalmente circular, são também chamadas de válvulas gaveta, apresentada na Figura 9 (BEGA et al., 2011).

Figura 9 – Válvulas guilhotinas

Fonte: DeZURIK (2019).

O desenho de válvula guilhotina mais utilizada é a válvula de gaveta deslizante, onde um disco desliza por uma abertura em forma de "v" originando uma abertura de forma caracterizada. São normalmente utilizadas na indústria de papel e celulose devido à manipulação de polpas, sendo desenho dessas válvulas favorável à remoção de fibras eventualmente remanescentes no disco da válvula devido à característica cortante das bordas do disco e da sede. As válvulas de controle podem contar com acessórios como posicionadores, chaves limites, volantes, válvulas solenoide, transmissores de posição, entre outros (BEGA et al., 2011).

2.2.4 Controlador Programável

Originalmente, os Sistemas Digitais de Controle Distribuídos (SDCDs) eram usados principalmente nas indústrias de processos e os Controladores Lógico Programáveis (CLPs) usados na indústria discretas. Indústria de bateladas, aplicam tanto SDCDs quanto Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados ou *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADAs) e CLPs, devido ao fato de envolverem processos contínuos e operações discretas. Os CLPs eram usados para aplicações com muita lógica, intertravamento e sequencial e os SDCDs eram usados para o controle PID do processo contínuo. SDCDs faziam o controle regulatório do processo e os CLPs faziam o controle de alarme e intertravamento do processo.

Hoje, adotam uma estratégia única de controle híbrido, que combina os benefícios tanto do Sistema Digital de Controle Distribuído como do Controladores Lógicos Programáveis, permitindo que se opere processos completamente diferentes no mesmo ambiente de controle.

O controlador lógico programável é definido pela *International Electrotechnical Commission* (IEC) como: Sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para o uso em um ambiente industrial, que usa uma memória programável para a armazenagem interna de instruções orientadas para o usuário para implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos. O controlador programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial e facilmente usados em todas as suas funções previstas (CAMARGO; FRANCHI, 2009).

Os controladores modulares da Siemens SIMATIC S7-400 oferecem soluções em automação como controle de processos com grande volume de dados ou gerenciamento de sistemas de manufatura que exijam um alto nível de performance. Segundo o próprio fabricante, O S7-400 possui instalação simples e robusta com configuração modular. Não há regras para a disposição dos slots, nem há necessidade de instalação de ventiladores de refrigeração. Todas as *Central Processing Unit* (CPUs), apresentadas na Figura 10, possuem uma grande capacidade de armazenamento de programa e interfaces de comunicação integradas. Diversas CPUs podem operar em regime de multiprocessamento, trabalhando juntas para garantir uma maior performance. A grande velocidade de processamento e o tempo de reação determinístico da CPU possibilitam curtos ciclos de máquina. A diversidade de módulos de I/O, função e comunicação permitem compor expansões centralizadas e arquiteturas distribuídas, seus módulos podem ser substituídos sem desligamento, garantido assim uma grande disponibilidade do sistema. O SIMATIC S7-400 juntamente com os pacotes SIMATIC *Engineering tools* contribuem para uma programação planejada e eficiente. Tais pacotes trabalham em conjunto com o software de programação STEP7, estão em conformidade com o padrão IEC 61131-3 e possibilitam a utilização de linguagens de programação de alto nível como SCL, ferramentas gráficas para o controle de sequenciais, diagrama de status e diagramas tecnológicos. Todo o projeto de *software* pode ser armazenado na própria CPU juntamente com simbólicos e comentários, o que facilita futuras modificações ou mesmo manutenções.

Figura 10 – CPU 414-2, CPU 414-3 e CPU 414-3 PN/DP



Fonte: Siemens (2017a).

O S7-400 é a base para o sistema de controle de processos PCS7 especialmente empregado em indústrias químicas, farmacêuticas e petroquímicas. Estão disponíveis variações de produtos para aplicações específicas. Na Tabela 6, pode-se verificar o comparativo do detalhamento técnico da família S7-414, CPUs para alta demanda na faixa de desempenho de nível médio, aplicável para plantas com requisitos adicionais em escopo de programação e velocidade de processamento e funções PROFINET integradas na CPU 414-3 PN/DP.

2.2.5 Sistemas Híbridos de Controle

Em busca de maior produtividade, com a crescente complexidade das máquinas e com altos custos de engenharia, a engenharia eficiente é um fator chave para o sucesso nas indústrias com automação integrada. A arquitetura aberta do sistema cobre toda a produção processo garantindo a interação eficiente de todos os componentes de automação, garantido gerenciamento de dados consistentes, padrões globais de *hardware* e de *software*. Esses recursos comuns minimizam despesas gerais de engenharia, reduzem custos, diminuem o tempo para fabricação e aumentam a flexibilidade do sistema de modo geral.

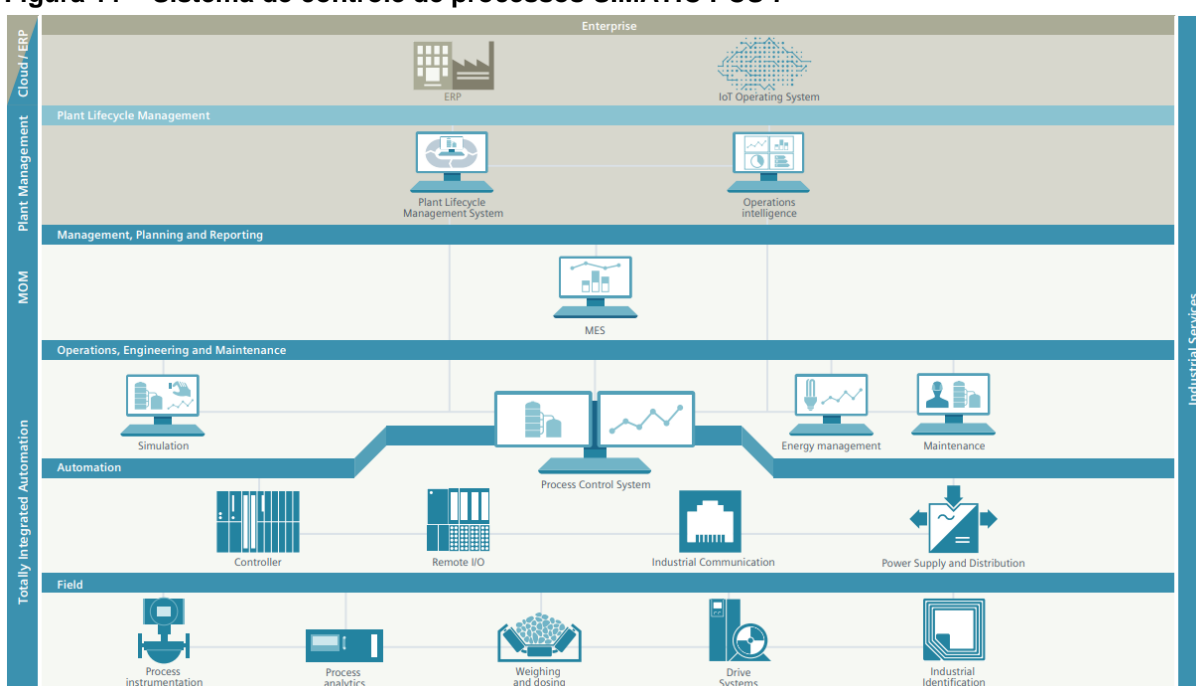
Tabela 6 – Especificações técnicas CLP S7-414

Article number	6ES7414-2XL07-0AB0	6ES7414-3XM07-0AB0	6ES7414-3EM07-0AB0
	CPU414-2, MPI/DP, 2 MB	CPU414-3, 4 MB, 3 INTERFACES	CPU414-3 PN/DP, 4 MB, 3 INTERFACES
General information			
Product type designation	CPU 414-2	CPU 414-3	CPU414-3 PN/DP
Engineering with			
• Programming package	STEP 7 V5.4 or higher with HSP 261	STEP 7 V5.4 or higher with HSP 261	STEP 7 V5.5 or higher with HSP 262
Supply voltage			
Rated value (DC)			
• 24 V DC	No; Power supply via system power supply	No; Power supply via system power supply	No; Power supply via system power supply
Power loss			
Power loss, typ.	4.5 W	5.5 W	6.5 W
Memory			
Work memory			
• integrated	2 Mbyte	4 Mbyte	4 Mbyte
• integrated (for program)	1 Mbyte	2 Mbyte	2 Mbyte
• integrated (for data)	1 Mbyte	2 Mbyte	2 Mbyte
Load memory			
• expandable EEPROM, max.	64 Mbyte	64 Mbyte	64 Mbyte
• integrated RAM, max.	512 kbyte	512 kbyte	512 kbyte
• expandable RAM, max.	64 Mbyte	64 Mbyte	64 Mbyte
CPU processing times			
for bit operations, typ.	18.75 ns	18.75 ns	18.75 ns
for word operations, typ.	18.75 ns	18.75 ns	18.75 ns
for fixed point arithmetic, typ.	18.75 ns	18.75 ns	18.75 ns
for floating point arithmetic, typ.	37.5 ns	37.5 ns	37.5 ns
Counters, timers and their retentivity			
S7 counter			
• Number	2 048	2 048	2 048
IEC counter			
• present	Yes	Yes	Yes
S7 times			
• Number	2 048	2 048	2 048
IEC timer			
• present	Yes	Yes	Yes
Data areas and their retentivity			
Flag			
• Number, max.	8 kbyte; Size of bit memory address area	8 kbyte; Size of bit memory address area	8 kbyte; Size of bit memory address area
Address area			
I/O address area			
• Inputs	8 kbyte	8 kbyte	8 kbyte
• Outputs	8 kbyte	8 kbyte	8 kbyte
Process image			
• Inputs, adjustable	8 kbyte	8 kbyte	8 kbyte
• Outputs, adjustable	8 kbyte	8 kbyte	8 kbyte
Interfaces			
Interfaces/bus type	1 x MPI/PROFIBUS DP, 1 x PROFIBUS DP	1 x MPI/PROFIBUS DP, 1 x PROFIBUS DP, 1 x PROFIBUS DP (optionally pluggable)	1 x MPI/PROFIBUS DP, 1 x PROFINET (2 ports), 1 x PROFIBUS DP (optionally pluggable)
Number of RS 485 interfaces	2; Combined MPI / PROFIBUS DP and PROFIBUS DP	2; Combined MPI / PROFIBUS DP and PROFIBUS DP	1; Combined MPI / PROFIBUS DP
Number of other interfaces		1; PROFIBUS DP with IF 964-DP (plug-in option; MLFB: 6ES7964-2AA04-0AB0)	1; PROFIBUS DP with IF 964-DP (plug-in option; MLFB: 6ES7964-2AA04-0AB0)
2. Interface			
Interface type	Integrated	Integrated	PROFINET
Physics	RS 485 / PROFIBUS	RS 485 / PROFIBUS	Ethernet RJ45
Interface types			
• Number of ports			2
Functionality			
• DP master	Yes	Yes	No
• DP slave	Yes	Yes	No
• PROFINET IO Controller			Yes
• PROFINET IO Device			Yes
• PROFINET CBA			Yes
DP master			
• Number of DP slaves, max.	96	96	

Fonte: Siemens (2017a).

Na Figura 11, se encontra um panorama geral do que propõe o sistema SIMATIC PCS 7 *Process Control System*, conforme o fabricante, essa solução foi expandida com produtos de *hardware* poderosos e compactos, como o SIMATIC ET 200SP HA e SIMATIC CFU, que suportam PROFINET e propiciam mais liberdade para o design do sistema e operação. O sistema SIMATIC ET 200SP HA I/O com conexões redundantes PROFINET permitem a conexão de controladores de alta disponibilidade através de duas redes completamente separadas, com escolha de cabos de cobre ou fibra ótica. A combinação do CFU SIMATIC (*Compact Field Unit*) e o barramento de campo digital e as I/Os discretas a conexão de dispositivos PROFIBUS PA, são automaticamente endereçadas e integradas.

Figura 11 – Sistema de controle de processos SIMATIC PCS 7





Fonte: Siemens (2017b).

O sistema de engenharia é otimizado para uma configuração eficiente em todo o sistema do SIMATIC PCS 7. A arquitetura de engenharia depende do uso como estação clássica e dedicada ou engenharia combinada, pode-se controlar até quatro monitores de processo. O pacote de ferramentas fornece um conjunto perfeitamente coordenado para engenharia orientada para projetos e em todo o sistema de hardware de controle, incluindo I/O e dispositivos de campo, redes de comunicação, funcionalidade de automação para processos contínuo e em lote, funcionalidade de interface homem-máquina (IHM), diagnóstico e funcionalidade de

gerenciamento de ativos, processos em lote automatizados com SIMATIC BATCH, transporte de conteúdo controlado pelo SIMATIC *Route Control* e aplicações de segurança.

O SIMATIC PCS 7 oferece uma variedade de opções para detectar de sinais de processo através de sensores e atuadores, bem como para conectar o processo de I/O à automação de sistemas, módulos de sinal e função em estações de I/O remotas como PROFIBUS DP (ET 200M, ET 200iSP, ET 200pro) ou PROFINET IO (ET 200SP HA, CFU SIMATIC, ET 200M, ET 200SP), conforme Figura 12, módulos de I/O analógicas e digitais do SIMATIC S7-400 operado centralmente no sistema de automação. Na prática, a automação de campo é caracterizada por processo I/O, dependendo do tipo também suporta configurações redundantes: SIMATIC ET 200 remoto I/Os em conjunto com o clássico dispositivos de campo/processo e dispositivos de campo HART, dispositivos de campo/processo inteligentes para conexão *fieldbus*. Algumas propriedades caracterizam o processo distribuído I/O: Modularidade e consistência, adaptabilidade flexível à estrutura da planta, requisitos mínimos de cabeamento e engenharia, baixos custos de comissionamento, serviço e ciclo de vida, módulos de sinal S7-400 que podem ser operados centralmente o sistema de automação são uma alternativa à distribuição I/O para pequenas aplicações ou plantas com distribuição limitada expansão.

Figura 12 – Remotas SIMATIC ET 200 para SIMATIC PCS 7

I/O system	SIMATIC CFU	ET 200SP HA	ET 200iSP	ET 200M	ET 200SP	ET 200pro
						
Design						
Degree of protection	IP20	IP20	IP30	IP20	IP20	IP65/IP66/IP67
Model	Compact	Modular	Modular	Modular	Discretely scalable	Modular
Mounting	Mounting rail	Mounting rail	Mounting rail	Mounting rail	Standard sectional rail	Mounting rail
Connection system for sensors/actuators	Multi-conductor connection Screw-type system	Multi-conductor connection Push-in-terminals	Multi-conductor connection Spring-loaded/ screw-type system	Single-conductor connection Spring-loaded/ screw-type system, FastConnect, TopConnect	Single/multi-conductor connection Push-in-terminals	M8, M12, M23
Special applications						
Safety	–	–	●	●	–	●
For use in hazard. areas	Zones 2, 22	Zone 2	Zones 1, 21	Zone 2	Zone 2	–
Increased availability	Redundant	Switched, redundant	Switched, redundant	Switched, redundant	–	–
Temperature range	-40 ... +70 °C (horizontal)	-40 ... +70 °C (horizontal)	-20 ... +70 °C	0 ... +60 °C	0 ... +60 °C (horizontal)	-25 ... +55 °C
Vibration resistance (continuous)	1 g	1 g	1 g	1 g	up to 5 g	5 g (module-dependent)
Communication						
PROFIBUS (Cu/FO)	– / –	– / –	● / – (1.5 Mbps)	● / – (12 Mbps)	– / –	● / ● (12 Mbit/s)
PROFINET (Cu/FO)	● / ●	● / ●	– / –	● / –	● / ●	– / –
System functions						
Permanent wiring	●	●	●	● (insertion and removal)	●	–
Hot swapping	–	●	●	● (with active backplane bus)	●	●
Expansion/configuration during ongoing operation	● / ●	● / ●	● / ●	● / ●	– / –	– / –
Diagnostics (module-dependent)	Channel-discrete	Channel-discrete	Channel-discrete	Channel-discrete	Channel-discrete	Channel-discrete
Functions						
Digital channels	●	●	●	●	●	●
Analog channels	●	●	●	●	●	●
incl. HART	PROFIBUS PA	●	●	●	●	–
Motor starter	–	Under developm.	–	–	–	–
Pneumatic interface	–	Under developm.	●	–	–	–
Technological functions	Under developm.	Under developm.	Counting, frequency measuring	Counting/measuring, controlling, weighing	–	–

Fonte: Siemens (2017b).

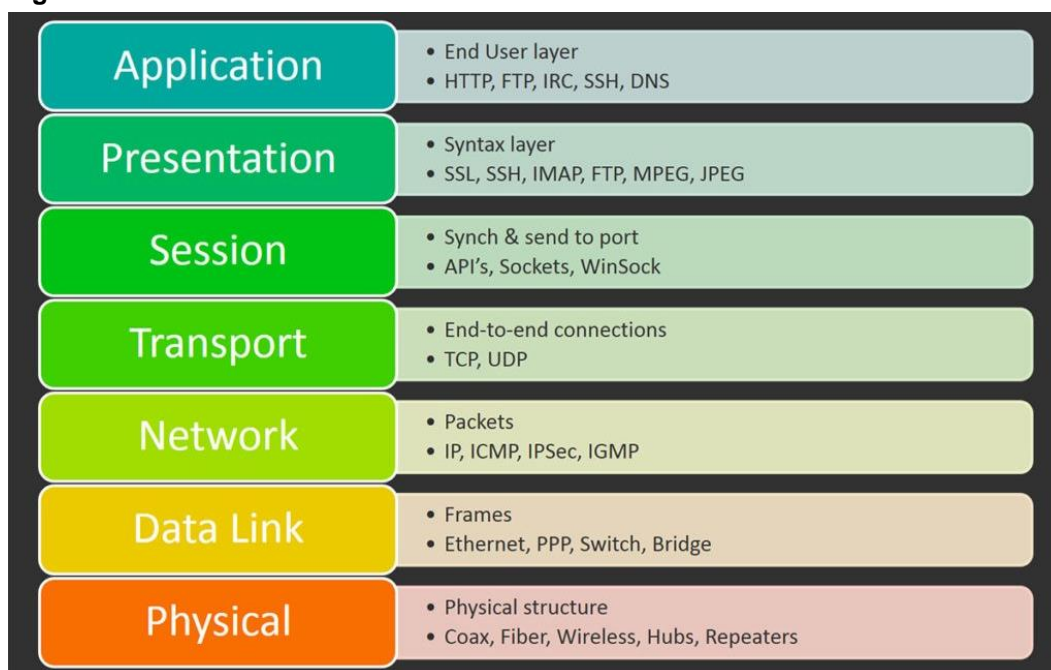
Mais recursos especificamente adaptados para o processo de I/Os são oferecidos como produtos complementares para o SIMATIC PCS 7, por exemplo: sistema de gerenciamento de motores de acionamento, sistemas de pesagem, disjuntores, aparelhos de medição.

2.2.6 Protocolo PROFINET

Uma rede de comunicação industrial é um conjunto de dispositivos independentes, interligados por um sistema de comunicação, capacitados a trocar informações entre si. Estas redes têm como finalidade transmitir informações cruciais de controle e dados operacionais para operadores, equipamentos, controladores, válvulas e sensores a fim de permitir a coordenação automatizada dos mais variados processos. Existem diferentes maneiras de formatação e transmissão das informações dá-se o nome de protocolo e cada um abrange um determinado conjunto de regras para estabelecer a comunicação e criar um envelope de dados para concatenar códigos necessários para a comunicação da rede, além dos dados de interesse propriamente ditos que compõem a mensagem (MARCOS, 2013).

O modelo *Open Systems Interconnection* (OSI) foi organização Internacional para a Normalização, tem como principal objetivo ser um modelo padrão ISO para protocolos de comunicação entre diversos tipos de sistema, garantindo a comunicação *end-to-end*. A arquitetura divide as redes de computadores em 7 camadas e cada protocolo realiza a inserção de uma funcionalidade assinalada a uma camada específica, como pode-se verificar na Figura 13.

Figura 13 – Camadas do modelo OSI



Fonte: Pinto (2010).

As camadas do modelo OSI, apresentadas ainda na Figura 13, tem as seguintes finalidades:

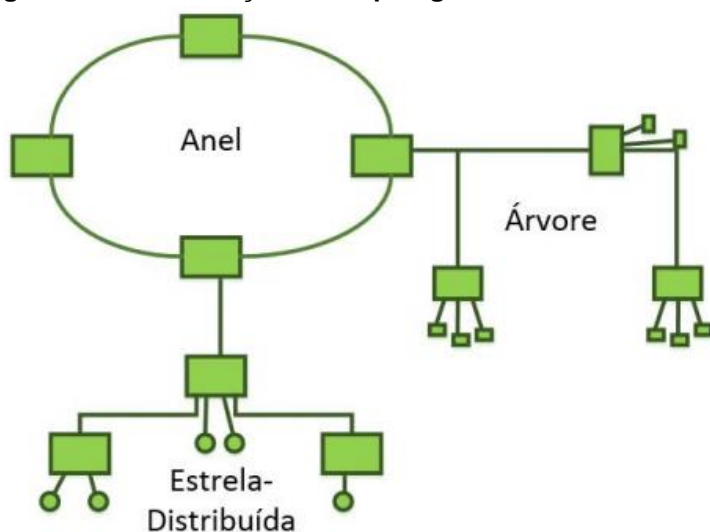
- Camada 1 – Física (*Physical*): Responsável por enviar e receber os bits através de um meio físico, nela são especificadas as interfaces elétricas e mecânicas além da forma como os dados são levados às camadas superiores.
- Camada 2 – Enlace de dados (*Data Link*): Estabelece endereços para identificar os nós da rede, e divide os pacotes a serem enviados pela camada física.
- Camada 3 – Rede (*Network*): Lida com o endereçamento de dados, ou seja, por levá-los da sua fonte até o receptor.
- Camada 4 – Transporte (*Transport*): Responsável pela movimentação dos dados da camada de sessão para a camada de rede e vice-versa, além de separar as camadas de aplicação das camadas físicas.
- Camada 5 – Sessão (*Session*): Tem a função de permitir que aplicações em diferentes dispositivos se comuniquem.
- Camada 6 – Apresentação (*Presentation*): Recebe os dados da camada de aplicação e os converte em um formato usual do protocolo utilizado.
- Camada 7 – Aplicação (*Application*): Responsável por permitir que as aplicações utilizem serviços de rede e provê meios para que a comunicação seja possível.

O *Process Field Network* (PROFINET) é um protocolo aberto de comunicação industrial, baseado no *Fast Ethernet*, que manteve do padrão *Ethernet* original a forma de endereçamento, o formato, o tamanho do *frame* e o mecanismo de detecção de erros. A mudança mais significativa foi o aumento de velocidade de 10 para 100 Mbps em *half-duplex*. Além disso, o PROFINET se baseia nos protocolos TCP, UDP e IP para configuração, troca de dados e diagnóstico de rede, sendo seu principal objetivo a criação de um ambiente de rede industrial integrado, robusto e seguro. O conceito do protocolo nasceu para satisfazer todas as necessidades de uma rede de comunicação industrial ideal. Seus parâmetros foram criados e desenvolvidos pela *Profibus International* (PI), uma associação internacional de empresas do segmento de automação industrial. O protocolo está em constante

desenvolvimento a partir das necessidades e desafios propostos pela indústria (OLIVEIRA, 2016).

O PROFINET também permite o uso de topologias em estrela, árvore e anel além da topologia linear, a mais comum entre redes industriais. Como no protocolo *Ethernet*, uma infra-estrutura de rede pode consistir em várias subseções com diferentes topologias, simples ou híbridas. A Figura 14, ilustra um exemplo topologias possíveis.

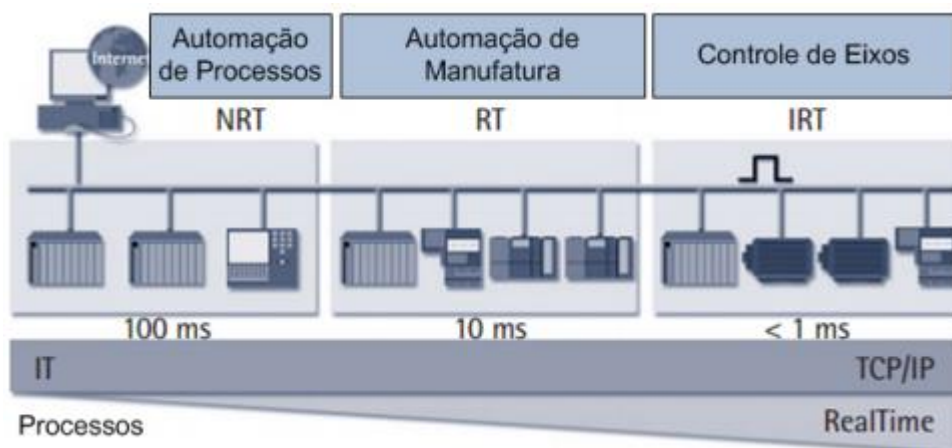
Figura 14 – Combinações de topologias PROFINET



Fonte: Oliveira (2016).

O padrão PROFINET é dividido em três canais de comunicação, diferenciados, sobre tudo, por níveis de performance para os diferentes tipos de processos industriais automatizados, que podem ser generalizados por automação de processos, manufatura e controle de eixos. Para cada tipo de processo tem-se diferentes tempos de sincronização, que regem o nível de performance da rede. A Figura 15, compara o tipo de aplicação com os canais PROFINET. Em especial, o *Non Real Time* (NRT), para aplicações onde o tempo de ciclo não é crítico (≥ 100 ms), como na automação de processos, PROFINET utiliza o padrão TCP/IP para transmissão dos pacotes de dados (OLIVEIRA, 2016).

Figura 15 – Aplicações para diferentes processos



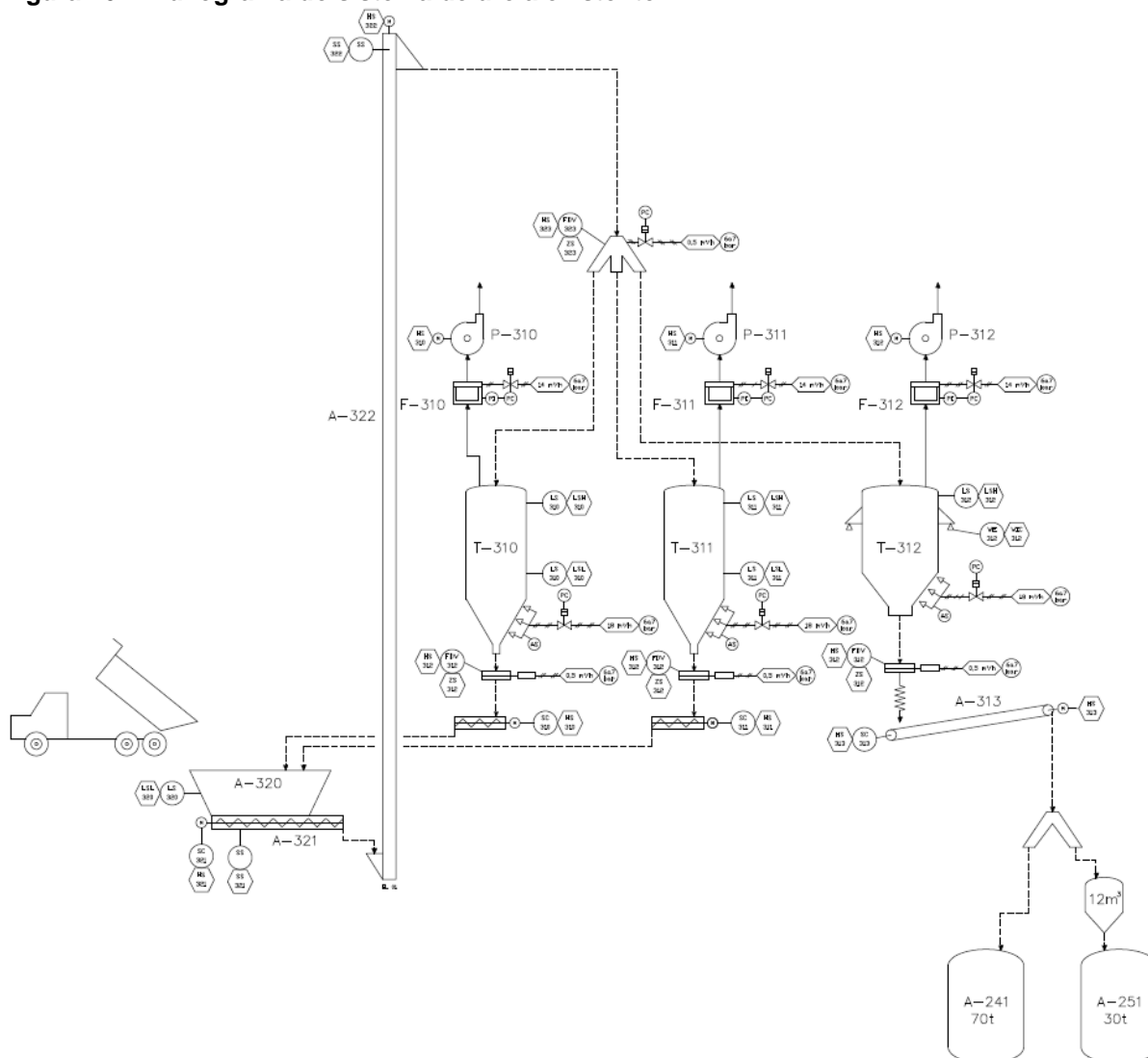
Fonte: Oliveira (2016).

3 DESENVOLVIMENTO DO TEMA

3.1 PROCESSO INDUSTRIAL

Partindo da estrutura já instalada, Figura 16, Figura 17, Figura 18 e Tabela 7, projeta-se um sistema de alimentação de ureia para alimentar os cinco reatores de resina. Para a especificação do sistema foram avaliadas as condições da planta, em relação à localização, elevação, temperatura e pressão atmosféricas, também foram avaliadas as propriedades químicas da ureia e as condições de recebimento do insumo.

Figura 16 – Fluxograma do sistema de ureia existente



Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

A ureia, recebida por caminhões, é descarregada na moega de recebimento A-320 e direcionada através da rosca A-321 até o elevador de canecas A-322, sistema existente. Do topo do elevador, a ureia pode ser descarregada nos seguintes pontos: silo de estocagem T-310, silo de estocagem T-311, silo balança T-312 ou no novo transportador A-325. O novo transportador A-325 é do tipo talisca e transporta a ureia até o novo sistema de estocagem. Assim como o sistema existente, o novo sistema consiste em dois silos de estocagem, T-316 e T-317, e um silo balança T-318. A flexibilidade de alimentar um dos três silos é feita através de um chute de três vias, assim como no sistema existente. Os novos silos de estocagem irão descarregar a ureia em um novo elevador de canecas A-327, que irá realizar a recirculação da ureia nos silos, ou enviar dos silos de estocagem para o silo balança que alimenta o processo.

Tabela 7 – Relação de equipamentos existentes

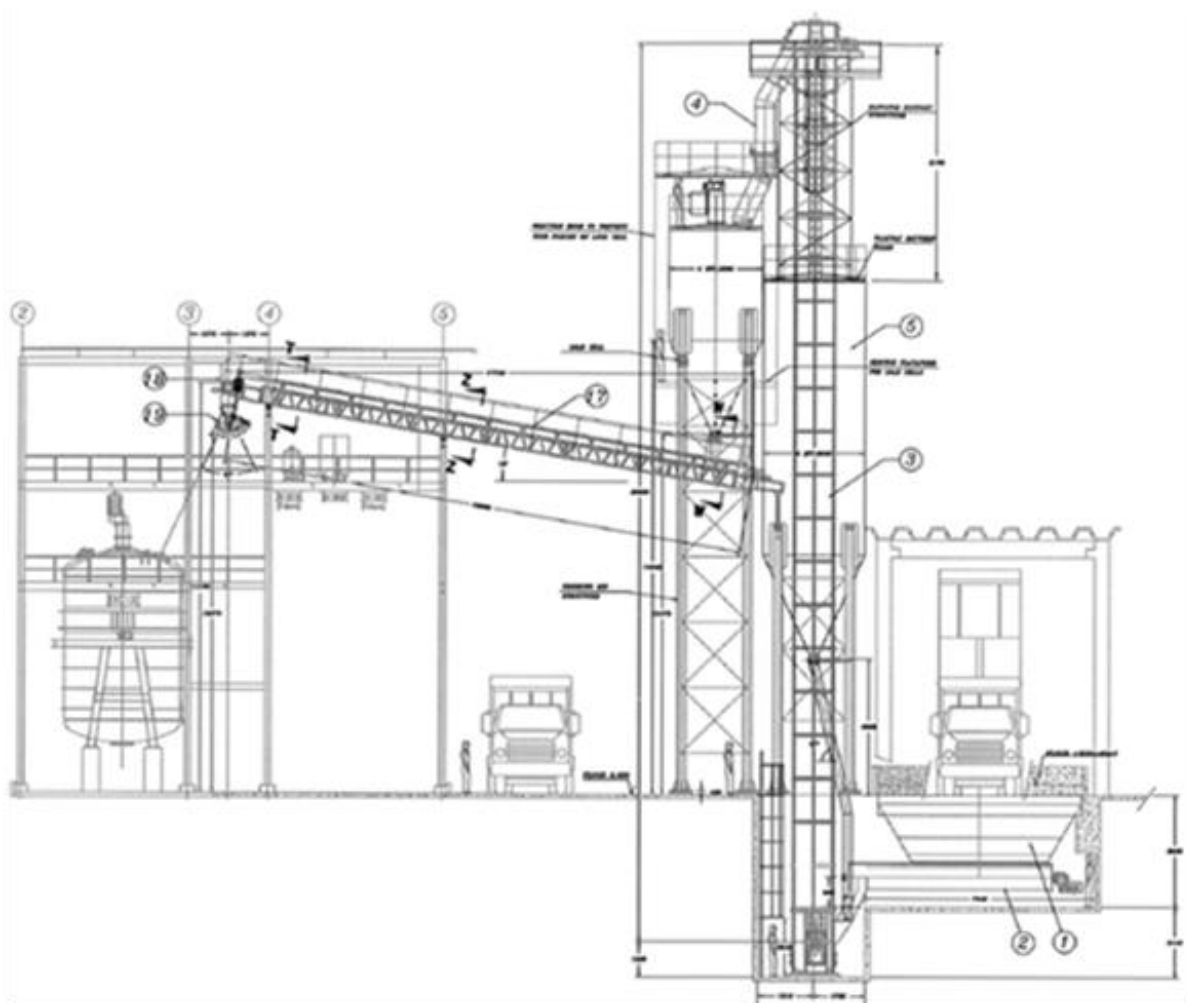
ITEM	TAG	EQUIPMENT	EQUIPAMENTO
01	A-320	RECEPTION HOPPER	MOEGA DE RECEPÇÃO
02	A-321	SCREW CONVEYOR	ROSCA TRANSPORTADORA
03	A-322	BUCKET ELEVATOR	ELEVADOR DE CANECOS
04	T-310/311	STORAGE TANK	SILOS DE ARMAZENAMENTO
05	T-312	WEIGHING BIN	SILOS BALANÇAS
06	A-313	BELT CONVEYOR	TRANSPORTADOR DE CORREIA
07	FDV	FLOW DIVERTER VALVE	VÁLVULA DE DESVIO DE FLUXO
08	FV	FLOW CONTROL VALVE	VÁLVULA CONTROLADORA DE VAZÃO
09	AS	AERATION SYSTEM	SISTEMA DE AERAÇÃO
10	F-310/311/312	CARTRIDGE TYPE FILTER	FILTRO TIPO CARTUCHO
11	P	EXHAUST FAN	EXAUSTOR
12	LS	LEVEL SENSOR	SENSOR DE NÍVEL
13	PC	PRESSURE CONTROLLER	CONTROLADOR DE PRESSÃO
14	PI	PRESSURE TRANSMISSOR	TRANSMISSOR DE PRESSÃO
15	WE	LOAD CELL	CÉLULA DE CARGA

Fonte: Autoria própria.

Do silo balança, a ureia é transportada até os reatores através de um novo transportador de correia A-319. Deste transportador partem as derivações que alimentam os reatores menores A-211, A-221 e A-231, ou o novo transportador A-330 que direciona a ureia até os reatores maiores A-241 e A-251. Como reatores

menores A-211, A-221 e A-231 não contam com célula de carga, não seria possível alimentar mais de um reator simultaneamente, devido à impossibilidade de medir e controlar a quantidade de ureia alimentada aos reatores se estes forem alimentados ao mesmo tempo, uma vez que o controle da quantidade de ureia alimentada é feito a partir do silo balança T-318. Atualmente, com o sistema de alimentação por big-bags, a fábrica já convive com essa limitação de processo, prejudicando a produção. Para solucionar a questão, houve a inclusão de três novos silos de carregamento para os reatores menores, equipados com células de carga, permitindo a flexibilidade do sistema e a alimentação simultânea dos reatores.

Figura 17 – Vista frontal do sistema de ureia original



Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

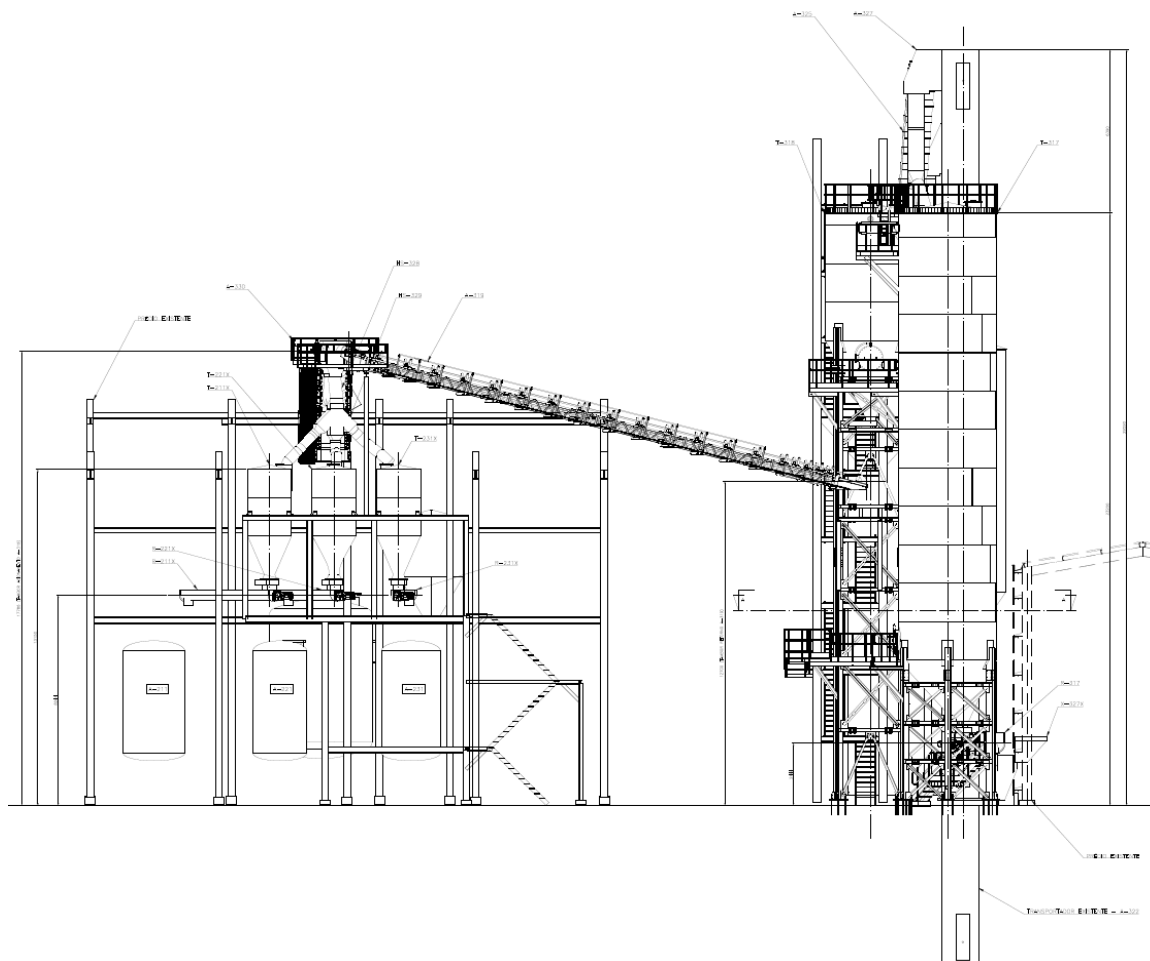
Na Tabela 8, são listados os novos equipamentos projetados e na Figura 20 pode-se verificar a alocação dos equipamentos no layout da fábrica. A Figura 19, representa a vista frontal, enquanto que a Figura 21, a vista superior da nova instalação.

Tabela 8 – Relação de equipamentos novos

ITEM	TAG	EQUIPAMENTO	CAPACIDADE
1	T-316	SILO DE ESTOCAGEM	210 m ³
2	T-317	SILO DE ESTOCAGEM	210 m ³
3	T-318	SILO BALANÇA	40 m ³
4	A-327	ELEVADOR DE CANECAS	120 m ³ /h
5	A-325	TRANSPORTADOR DE TALISCAS	120 m ³ /h
6	A-319	TRANSPORTADOR DE CORREIA	120 m ³ /h
7	A-330	TRANSPORTADOR DE CORREIA	120 m ³ /h

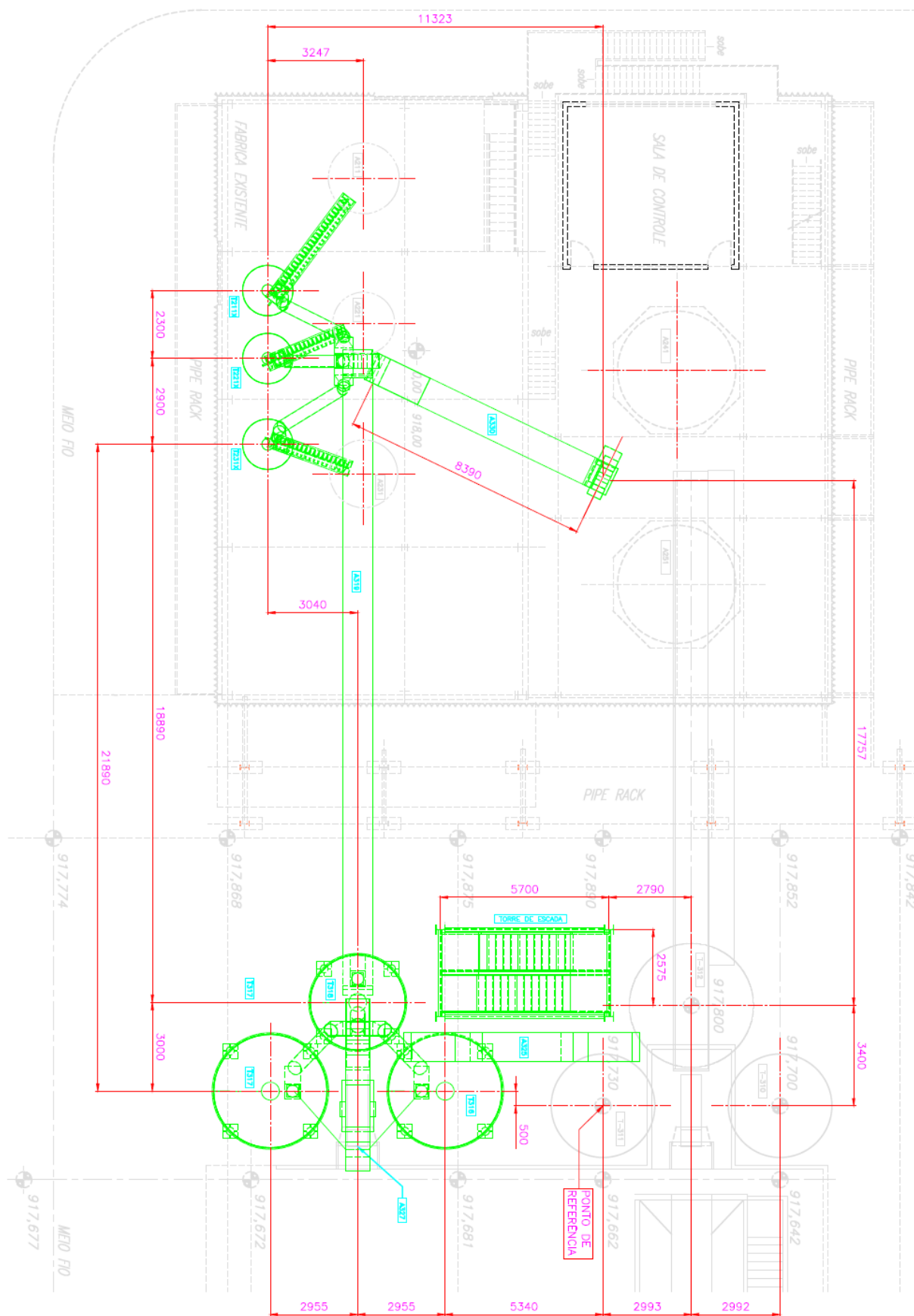
Fonte: Autoria própria.

Figura 19 – Vista frontal do novo sistema de ureia



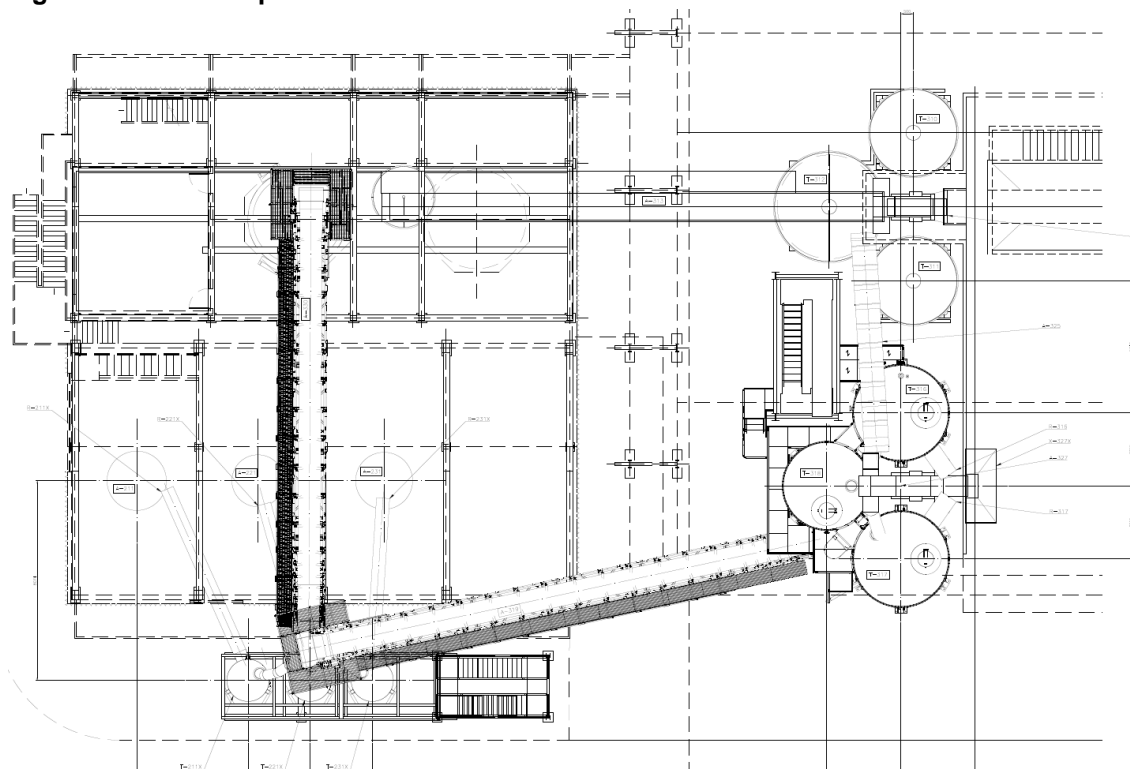
Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Figura 20 – Planta geral de alocação de equipamentos novos



Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

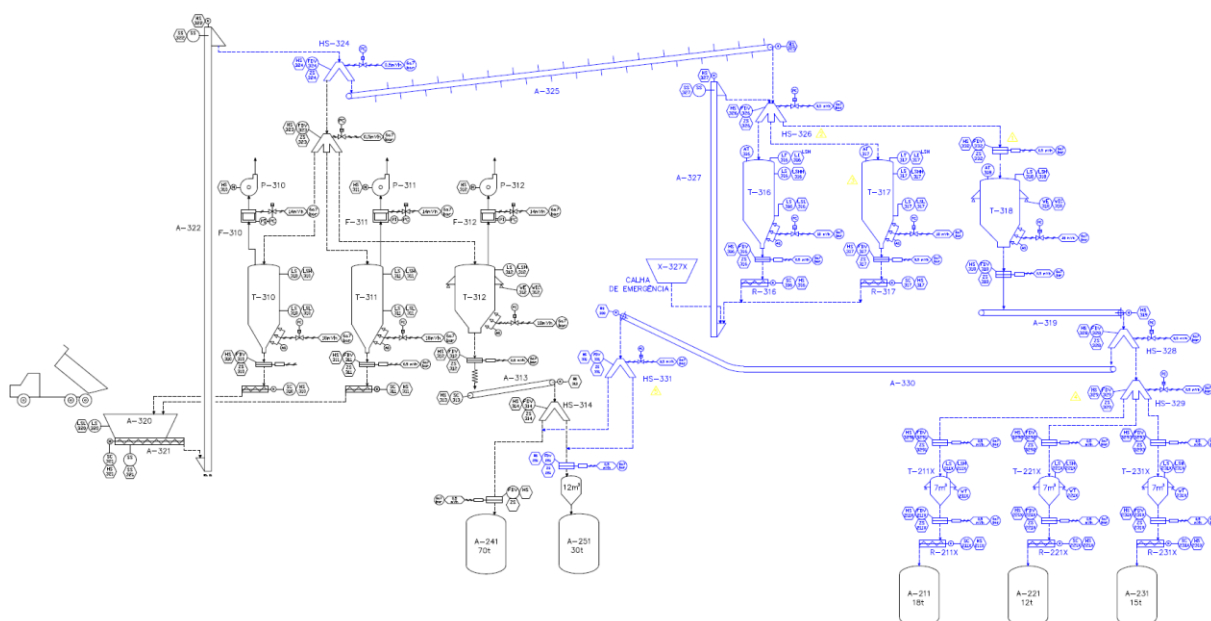
Figura 21 – Vista superior do novo sistema de ureia



Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

O fluxograma do sistema ARR-2057-410-P-FLX-0001 pode ser visto com maior detalhamento na Figura 22.

Figura 22 – Fluxograma do sistema de ureia geral



Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

3.2 AUTOMAÇÃO E CONTROLE

Após o levantamento dos dados de aplicação e instalação, realiza-se o levantamento do número de I/Os para definição do *hardware* necessário para a leitura de sensores, controle dos atuadores do sistema e da quantidade de memória necessária para a elaboração do *software* de controle, ou seja, do porte e da velocidade mínima da CPU de controle.

Avaliam-se as entradas e saídas digitais, entradas e saídas analógicas, e outras tipos de entradas quando aplicável. No caso das I/Os digitais, é importante conhecer os tipos de sensores e acionamentos digitais que serão utilizados, entradas e saídas digitais para alta e baixa tensão, saídas digitais a transistor PNP/NPN, a triac, a relés, entradas e saídas com isolamento, rápidas e isoladas. Para as I/Os analógicas, as entradas e saídas analógicas em corrente, entradas e saídas analógicas em tensão. Além disso, a capacidade de expansão do hardware de um sistema é de grande importância, para tal é prevista a possibilidade de inclusão de novos instrumentos no futuro, considerando um extra de aproximadamente 10%, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Relação de entradas e saídas analógicas e digitais

(continua)

ITEM	ID MALHA	COMPONENTES	DESCRIÇÃO	I/O FÍSICO				I/O REDE				ALARME				
				AI2	AI4	AO	DI	DO	AI	AO	DI	DO	LL	L	HH	H
1	SI 319	INDICADOR DE VELOCIDADE	Velocidade do elevador de canecos A-319													
	SS 319	CHAVE DE VELOCIDADE					X									
2	FDV 324	VÁLVULA DE DESVIO 2 VIAS	Válvula direcional de ureia para armazenamento													
	SV 324	SOLENOÍDE							X							
	ZSL 324	FIM DE CURSO					X									
	ZSH 324	FIM DE CURSO					X									
3	HS 325	COMANDO MOTOR	Comando do transportador de taliscas, acionamento por <i>soft start</i>												X	
4	SI 325	INDICADOR DE VELOCIDADE	Velocidade do elevador de canecos A-325													
	SS 325	CHAVE DE VELOCIDADE					X									
5	FDV 326	VÁLVULA DE DESVIO 3 VIAS	Válvula direcional de ureia para silos de estocagem													
	ZSL 326A	FIM DE CURSO					X									
	ZSH 326A	FIM DE CURSO					X									
	ZSL 326B	FIM DE CURSO					X									
	ZSH 326B	FIM DE CURSO					X									
	SV 326A	SOLENOÍDE							X							
	SV 326B	SOLENOÍDE							X							
6	HS 327	COMANDO MOTOR	Comando do elevador de canecos A-327, acionamento por <i>soft start</i>												X	
7	SI 327	INDICADOR DE VELOCIDADE	Velocidade do elevador de canecos A-327													
	SE 327	SENSOR DE VELOCIDADE														
	SS 327	TRANS. DE VELOCIDADE								X						

Tabela 9 – Relação de entradas e saídas analógicas e digitais

(conclusão)

ITEM	ID MALHA	COMPONENTES	DESCRIÇÃO	I/O FÍSICO				I/O REDE				ALARME						
				AI2	AI4	AO	DI	DO	AI	AO	DI	DO	LL	L	HH	H		
40	HS 231	COMANDO MOTOR	Comando da rosca extratora 3, acionamento por inversor de frequência															X
41	LS 231	ALARME DE NIVEL	Controle de nível do silo balança T-231															
	LSH 231	CHAVE DE NIVEL						X										
42	SC 231	CONTROLADOR DE VELOCIDADE	Controlador de velocidade da rosca extratora 3, acionamento por inversor de frequência															X
43	HS 330	COMANDO MOTOR	Comando do transportador de correia A-330, acionamento por partida direta															X
44	SI 330	INDICADOR DE VELOCIDADE	Velocidade do elevador de canecos A-330															
	SS 330	CHAVE DE VELOCIDADE						X										
45	FDV 331	VALVULA DE DESVIO 2 VIAS	Válvula direcional para o reator A-241 ou A-351															
	SV 331	SOLENOÍDE							X									
	ZSL 331	FIM DE CURSO						X										
	ZSH 331	FIM DE CURSO						X										
46	FDV 329.1	SLIDE VALVULA	Válvula de carga para o reator A-211															
	SV 329.1	SOLENOÍDE							X									
	ZSL 329.1	FIM DE CURSO						X										
	ZSH 329.1	FIM DE CURSO						X										
47	FDV 329.2	SLIDE VALVULA	Válvula de carga para o reator A-221															
	SV 329.2	SOLENOÍDE							X									
	ZSL 329.2	FIM DE CURSO						X										
	ZSH 329.2	FIM DE CURSO						X										
48	FDV 329.3	SLIDE VALVULA	Válvula de carga para o reator A-231															
	SV 329.3	SOLENOÍDE							X									
	ZSL 329.3	FIM DE CURSO						X										
	ZSH 329.3	FIM DE CURSO						X										
49	FDV 251	SLIDE VALVULA	Válvula de carga para silo existente do reator A-231															X
	SV 251	SOLENOÍDE							X									
	ZSL 251	FIM DE CURSO							X									
50	HS 333	BOTÃO DE EMERGÊNCIA	Botoeira de emergência da remota +4E						X									
51	HS 334	BOTÃO DE EMERGÊNCIA	Botoeira de emergência da remota +5E						X									
52	HS 335	BOTÃO DE EMERGÊNCIA	Botoeira de emergência da remota +6E						X									

Fonte: Autoria própria.

A partir a listagem geral de instrumentos e equipamentos envolvidos tem-se um compilado da necessidade de entradas e saídas digitais e analógicas necessárias tanto na rede quanto no meio físico, conforme Tabela 10.

Tabela 10 – Resumo de necessidades

I/O FÍSICO		I/O REDE	
A12 (2 fios)	5		
A14 (4 fios)	4	AI	5
AO	0	AO	0
DI	50	DI	0
DO	18	DO	9

Fonte: Autoria própria.

Para a escolha do CLP alguns fatores além da capacidade máxima de I/Os são ser observados, como a capacidade máxima de memória e integração com redes de automação. É uma escolha complexa e devem ser avaliadas também as características como tempo de *scan*, entradas e saídas imediatas, interrupções.

Devido a configuração física da instalação são consideradas três remotas, que se comunicam com o CLP, replicando suas entradas e saídas, através de módulos menores fisicamente próximos às máquinas específicas e controlados à distância, essa forma de construção com I/O remotas é vista como oportunidade de economia em material, instalação e esforço.

Na Tabela 11, pode-se verificar a divisão das remotas por localização física, sendo a remota +4E no piso térreo dos silos, a remota +5E no nível do teto dos silos e a remota +6E no nível dos reatores.

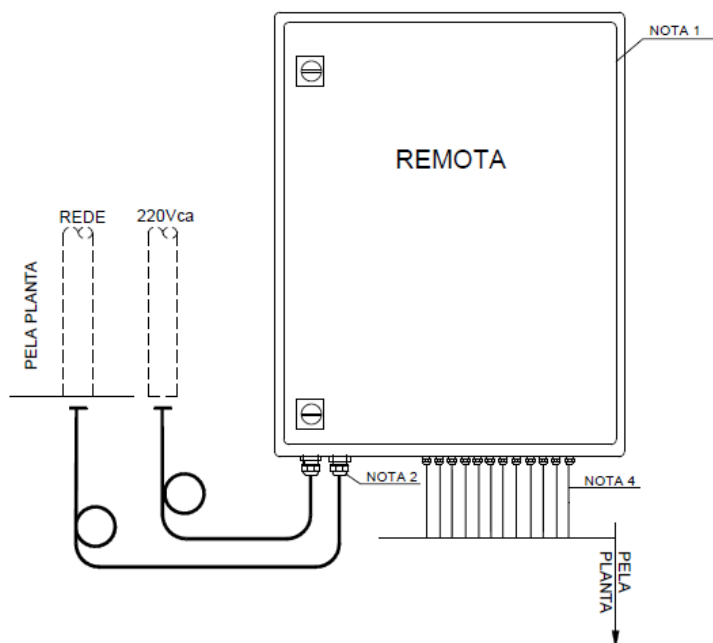
O CLP selecionado é da série S7-400 da Siemens, sendo a CPU com a referência 6ES7414-3EM07-0AB0. Deve ser instado em uma coluna do CCM para uso exclusivo. Na coluna do CLP devem estar contidos todos os cartões de I/O para comando dos motores, relés de segurança e demais componentes destinados ao controle do sistema (*switches* de rede, acopladores óticos, bornes de interligação com as remotas, etc.). Para as saídas digitais onde há necessidade de inclusão na lógica de paradas de emergência (DO-E), deverão ser previstos cartões com alimentação vinda do relé de segurança correspondente à área de abrangência. As remotas deverão ser conectadas por meio de rede PROFINET, conforme configuração representada na Figura 23, sendo o módulo de processamento da série ET-200SP da Siemens.

Tabela 11 – Distribuição de equipamentos por remotas.

ITEM	TAG	DESTINO	ITEM	TAG	DESTINO
1	AT-316	REMOTA +4E		FDV-231	
2	AT-317	REMOTA +4E	25	SV-231	REMOTA +6E
3	AT-318	REMOTA +4E		ZS-231	REMOTA +6E
	FDV-318	REMOTA +4E		FDV-251	
4	SV-318	REMOTA +4E	26	SV-251	REMOTA +6E
	ZS-318	REMOTA +4E		ZS-251	REMOTA +6E
	FDV-324	REMOTA +4E		FDV-328	
5	SV-324	REMOTA +4E	27	SV-328	REMOTA +6E
	ZS-324	REMOTA +4E		ZS-328	REMOTA +6E
	FDV-326	REMOTA +4E		FDV-329	
	SV-326A	REMOTA +4E		SV-329A	REMOTA +6E
6	SV-326B	REMOTA +4E	28	SV-329B	REMOTA +6E
	ZS-326A	REMOTA +4E		ZS-329A	REMOTA +6E
	ZS-326B	REMOTA +4E		ZS-329B	REMOTA +6E
	FDV-332	REMOTA +4E		FDV-329.1	
7	SV-332	REMOTA +4E	29	SV-329.1	REMOTA +6E
	ZS-332	REMOTA +4E		ZS-329.1	REMOTA +6E
8	LSHH-316	REMOTA +4E		FDV-329.2	
9	LSHH-317	REMOTA +4E	30	SV-329.2	REMOTA +6E
10	LSHH-318	REMOTA +4E		ZS-329.2	REMOTA +6E
11	LT-316	REMOTA +4E		FDV-329.3	
12	LT-317	REMOTA +4E	31	SV-329.3	REMOTA +6E
13	WT-318	REMOTA +4E		ZS-329.3	REMOTA +6E
	WE-318A	WT-318		FDV-331	
14	WE-318B	WT-318	32	SV-331	REMOTA +6E
	WE-318C	WT-318		ZS-331	REMOTA +6E
	WE-318D	WT-318	33	LSH-211	REMOTA +6E
15	REMOTA +4E	PLC-01	34	LSH-221	REMOTA +6E
16	SS-325	REMOTA +4E	35	LSH-231	REMOTA +6E
17	LSL-316	REMOTA +5E	36	WT-211	REMOTA +6E
18	LSL-317	REMOTA +5E		WE-211A	WT-211
	FDV-316	REMOTA +5E	37	WE-211B	WT-211
19	SV-316	REMOTA +5E		WE-211C	WT-211
	ZS-316	REMOTA +5E	38	WT-221	REMOTA +6E
	FDV-317	REMOTA +5E		WE-221A	WT-221
20	SV-317	REMOTA +5E	39	WE-221B	WT-221
	ZS-317	REMOTA +5E		WE-221C	WT-221
21	REMOTA +5E	PLC-01	40	WT-231	REMOTA +6E
22	SS-327	REMOTA +5E		WE-231A	WT-231
	FDV-211		41	WE-231B	WT-231
23	SV-211	REMOTA +6E		WE-231C	WT-231
	ZS-211	REMOTA +6E	42	REMOTA +6E	PLC-01
	FDV-221		43	SS-319	REMOTA +6E
24	SV-221	REMOTA +6E	44	SS-330	REMOTA +6E
	ZS-221	REMOTA +6E	45	-	-

Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Padrão de painel para remotas



NOTAS:

- 1 - PAINEL REMOTA (FORNECIDO P/ INSTRUMENTAÇÃO).
- 2 - PRENSA CABOS FORNECIDOS COM O PAINEL.
- 3 - ATERRAMENTO A SER DEFINIDO PELO CAMPO.
- 4 - COMPRIMENTO DE CABO EXPOSTO, MÁXIMO 300mm.

Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Este trabalho não contempla a apresentação do desenvolvimento de software de automação na plataforma PCS7, as simulações das possíveis lógicas, apresentação da etapa de comissionamento dos novos equipamentos, implantação e testes em campo das novas lógicas e telas de operação, nem mesmo o relato de acompanhamento da produção e treinamento da operação.

Avaliando as necessidades de funcionamento e após a análise preliminar de riscos para a implantação do projeto, definem-se algumas condições de segurança a serem implementadas na programação do sistema:

1. Deve-se implementar o intertravamento da válvula guilhotina com a posição do *dumper* HS-326: fechada para alimentação do silo de estocagem T-316 e T-317, aberta para alimentação do silo balança T-318.
2. A seleção da posição do *dumper* HS-326 deve ser intertravada com as chaves de nível dos silos: se o silo está com nível alto não é possível posicionar o *dumper* neste sentido.
3. Silo com nível alto (H): intertravamento com a posição do *dumper* HS-326 impedindo a alimentação deste silo, realizado através do transmissor radar.

Silo com nível alto (HH): intertravamento para parar todo o sistema, elevador A-327 e transportador A-325, realizado através da chave de nível.

4. Deve-se implementar intertravamento através das válvulas guilhotinas na entrada dos silos balança intermediários (T-211X, T221X e T-231X) com a posição do *dumper* HS-329: intertravamento configurado para que apenas a válvula do silo que estiver recebendo esteja aberta e as demais fechadas.
5. Deve-se implementar intertravamento das válvulas guilhotinas na entrada do silo balança intermediário do reator A-251 e na entrada do reator A-241 com a posição dos *dumpers* HS-331 e HS-314: intertravamento configurado para que apenas a válvula do silo/reator que estiver recebendo esteja aberta e as demais fechadas.
6. Os transportadores A-319 e A-330 devem contar com a guia lateral e aparador conforme normas de segurança vigentes, como a NR 12 - SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, item 12.91: Os transportadores contínuos acessíveis aos trabalhadores devem dispor, ao longo de sua extensão, de dispositivos de parada de emergência, de modo que possam ser acionados em todas as posições de trabalho.

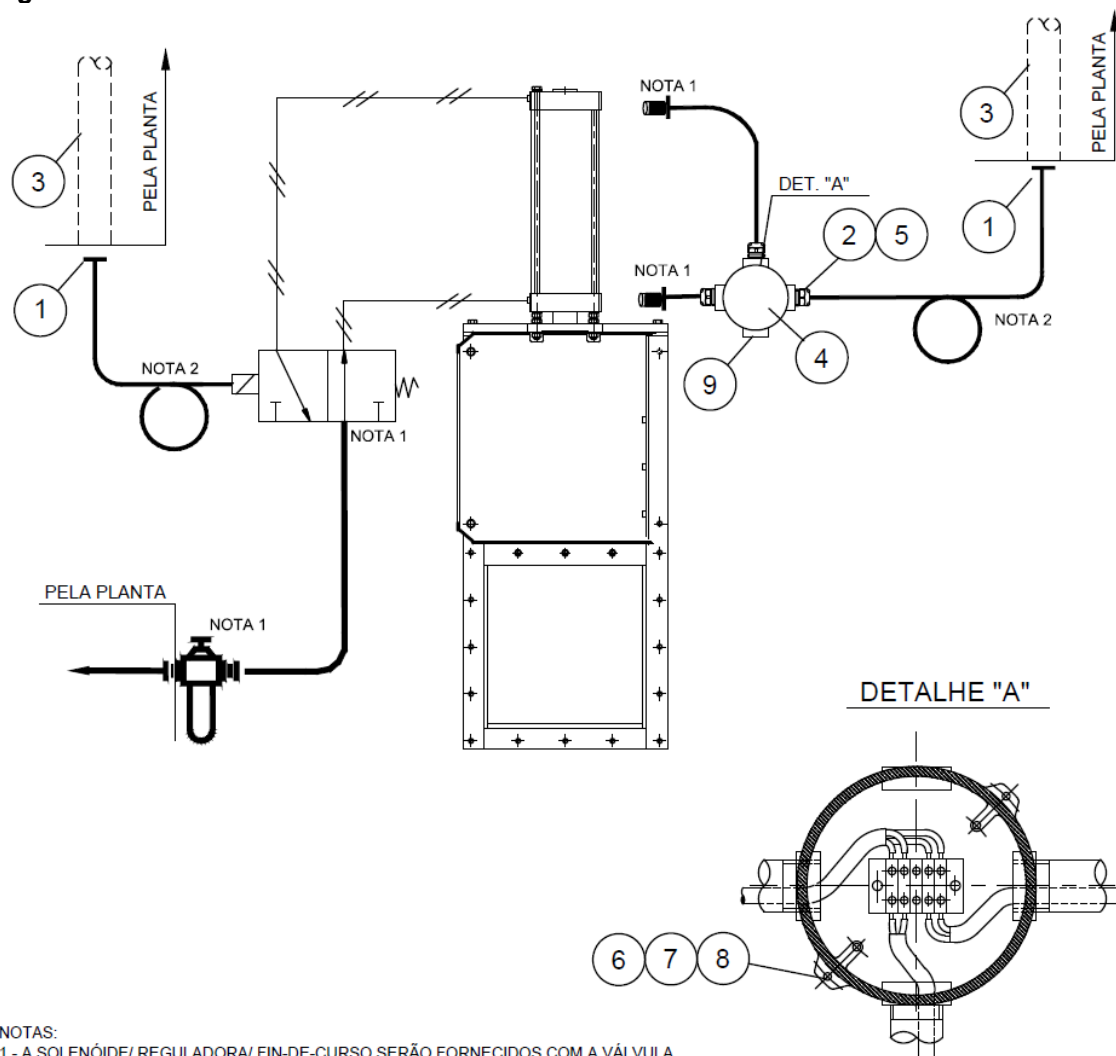
3.3 INSTRUMENTAÇÃO DE PROCESSOS

O sistema projetado conta com instrumentos tipo slide válvula/solenoide/fim de curso, válvula direcional/solenoide/fim de curso/uma entrada duas saídas e uma entrada três saídas, indicador de peso com 3 células de carga e com 4 células de carga, analisador de umidade, transmissor de nível radar, chave de nível tipo pá rotativa, na sequência pode-se observar os detalhes típicos de instalação desses instrumentos.

Iniciando pelas slide válvulas/solenoide/fim de curso, que são as FDV-211 (carga para o reator A-211), FDV-221 (carga para o reator A-221), FDV-231 (carga para o reator A-231), FDV-251 (carga do A-251), FDV-316 (descarga do silo T-316), FDV-317 (descarga do silo T-317), FDV-318 (descarga do silo T-318), FDV-332 (carga para silo balança T-318), FDV-329.1 (carga para A-211), FDV-329.2 (carga para A-221), FDV-329.3 (carga para A-231). Ambas contam com atuador tipo pistão,

em caso de falha ficam na última posição, consideram válvula solenoide 5 vias com alimentação elétrica em 24 Vcc e fim de curso indutivo, conforme Figura 24.

Figura 24 – Slide válvula/solenoide/fim de curso

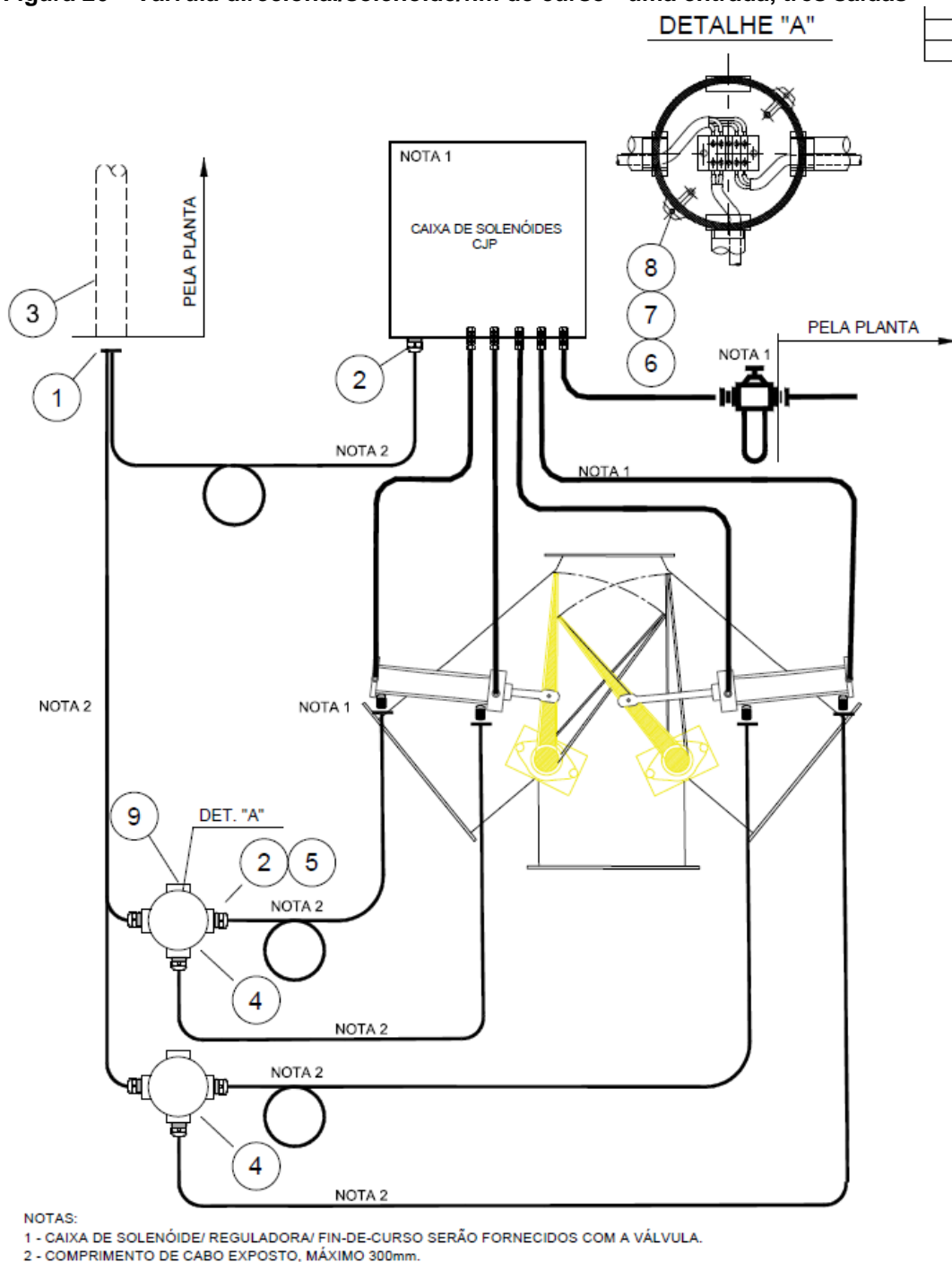


NOTAS:
 1 - A SOLENÓIDE/ REGULADORA/ FIN-DE-CURSO SERÃO FORNECIDOS COM A VÁLVULA.
 2 - COMPRIMENTO DE CABO EXPOSTO, MÁXIMO 300mm.

Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

As válvulas direcionais/solenoide/fim de curso - uma entrada duas saídas, que são as FDV-324 (ureia para armazenamento), FDV-326 (seletora p/ silos de estocagem), FDV-328 (descarga da A-319), FDV-329 (seletora para os reatores A-211, A-221 ou A-231), FDV-331 (seletora para os reatores A-241 ou A-251), ambas com atuador tipo pistão, em caso de falha parada em última posição, com válvulas solenoide de 6 vias, alimentação elétrica em 24 Vcc e fim de curso indutivo, segundo Figura 25 e Figura 26.

Figura 26 – Válvula direcional/solenóide/fin de curso - uma entrada, três saídas

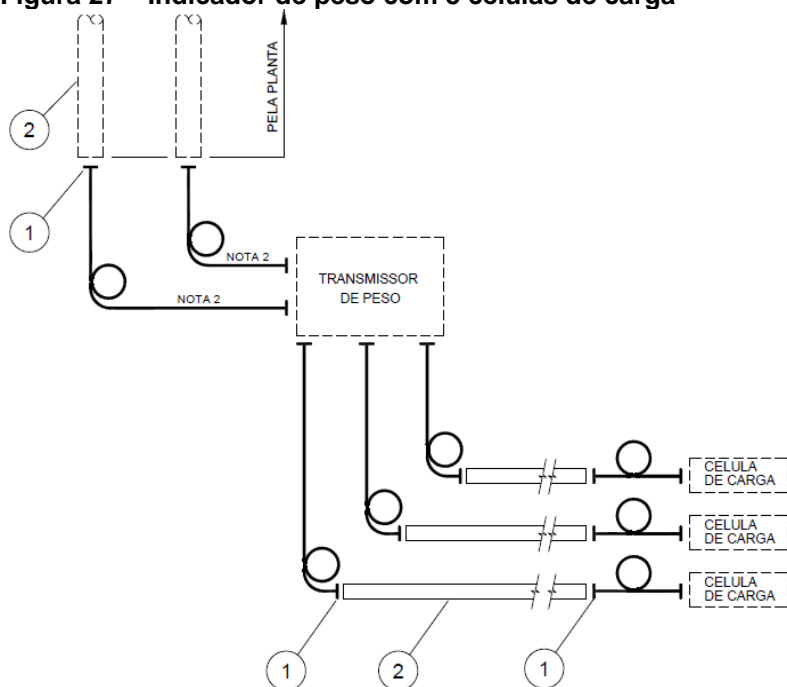


Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Os indicadores de peso com 3 células de carga, WT-211 (carregamento de ureia para A-211 do equipamento T-211), WT-221 (carregamento de ureia para A-221 do equipamento T-221), WT-231 (carregamento de ureia para A-231 do equipamento T-231), com transmissor de peso alimentado em 220 V_{CA} e sinal de saída em 4 a 20 mA. E os indicadores com 4 células de carga WT-318 (silo balança de ureia T-318 do equipamento T-318), também com transmissor de pressão

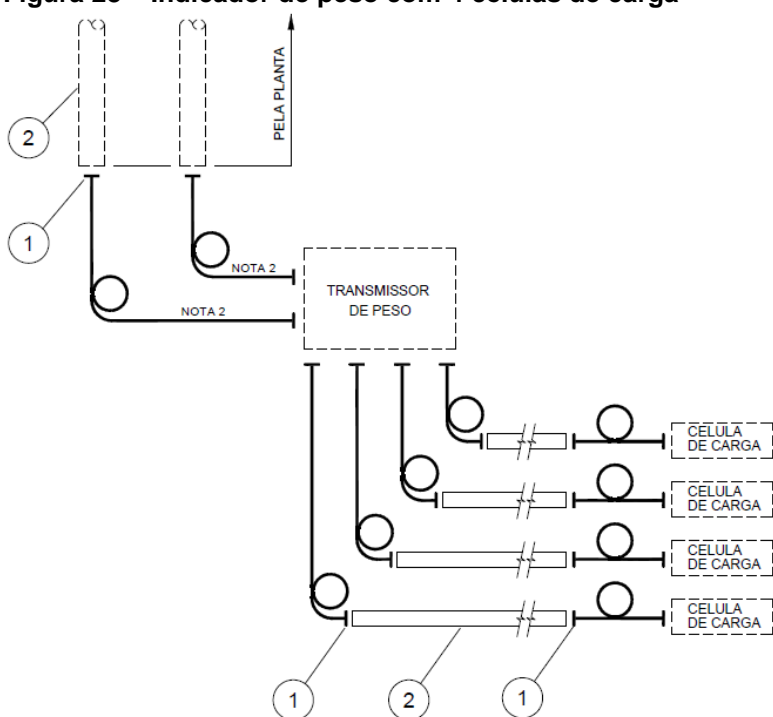
alimentado em 220 V_{CA} e sinal de saída em 4 a 20 mA, como pode-se verificar na Figura 27 e na Figura 28.

Figura 27 – Indicador de peso com 3 células de carga



Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Figura 28 – Indicador de peso com 4 células de carga



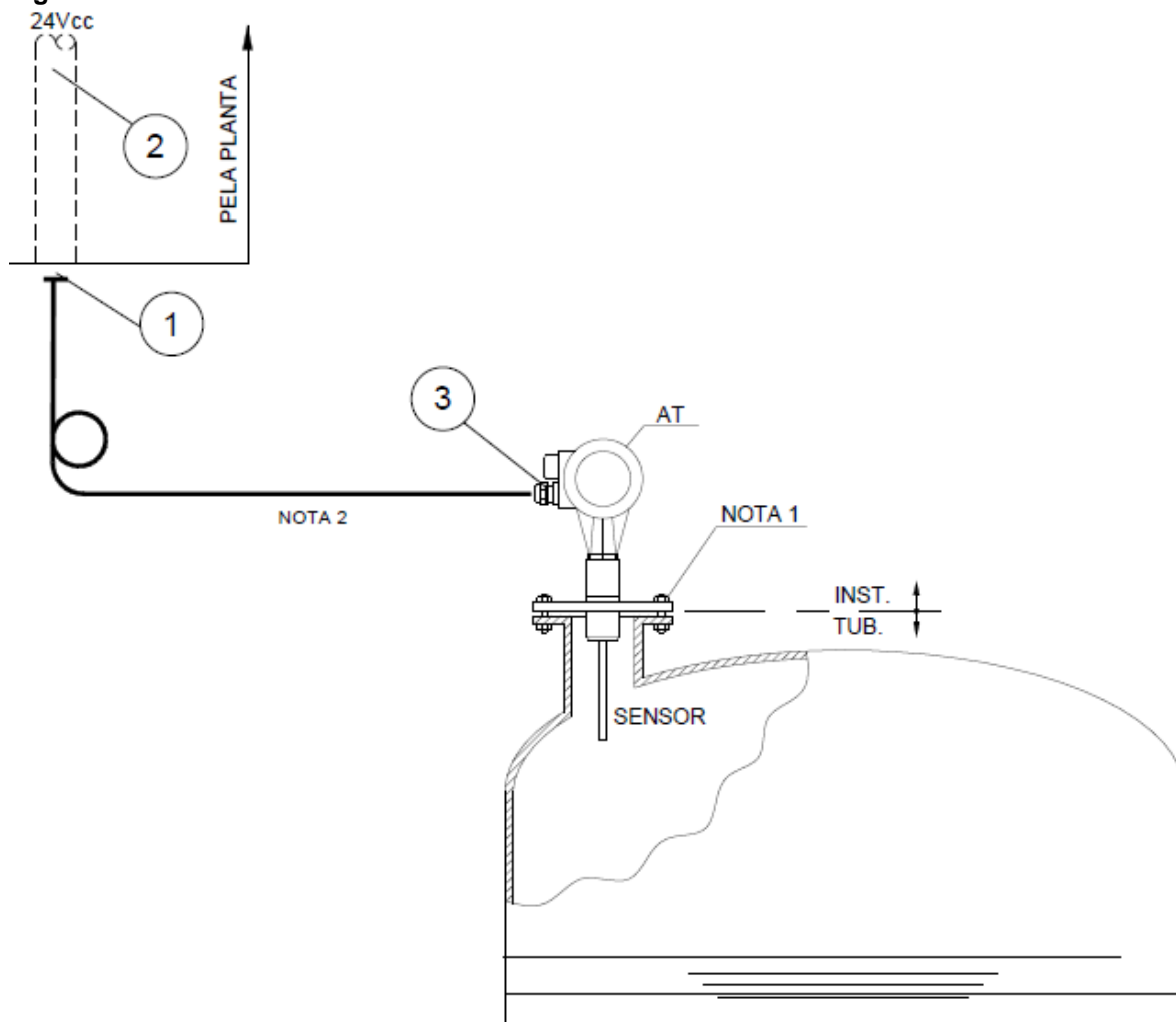
NOTAS:

- 1 - CAIXA DE JUNÇÃO, CELULAS DE CARGA, CABOS E PRENSA CABOS FORNECIDOS COM O TRANSMISSOR DE PESO.
- 2 - COMPRIMENTO DE CABO EXPOSTO, MÁXIMO 300mm.

Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Analísadores de umidade, que realizam a medição da umidade presente no ambiente ou a medição de diversos produtos s3lidos em movimento. Para garantir o controle de qualidade do produto, mede-se a umidade relativa do ar, os meios eletr3nicos existentes exigem o emprego de sensores especiais como os do tipo capacitivo. AT-316 (analísador de umidade no silo de armazenamento de ureia T-316), AT-317 (analísador de umidade no silo de armazenamento de ureia T-317), AT-318 (analísador de umidade no silo de balança de ureia T-318) do tipo umidade relativa, com alimenta33o em 24 Vcc e sinal de sa3da 4 a 20 mA em protocolo HART, como representados na Figura 29.

Figura 29 – Analísadores de umidade



NOTAS:

1 - PARAFUSOS, JUNTAS E PORCAS PELA TUBULA33O.

DESENHO 3 APENAS ILUSTRATIVO. CONSULTAR DOCUMENTA33O DO FABRICANTE PARA DETALHES ESPEC3FICOS, DIMENSIONAIS, ETC.

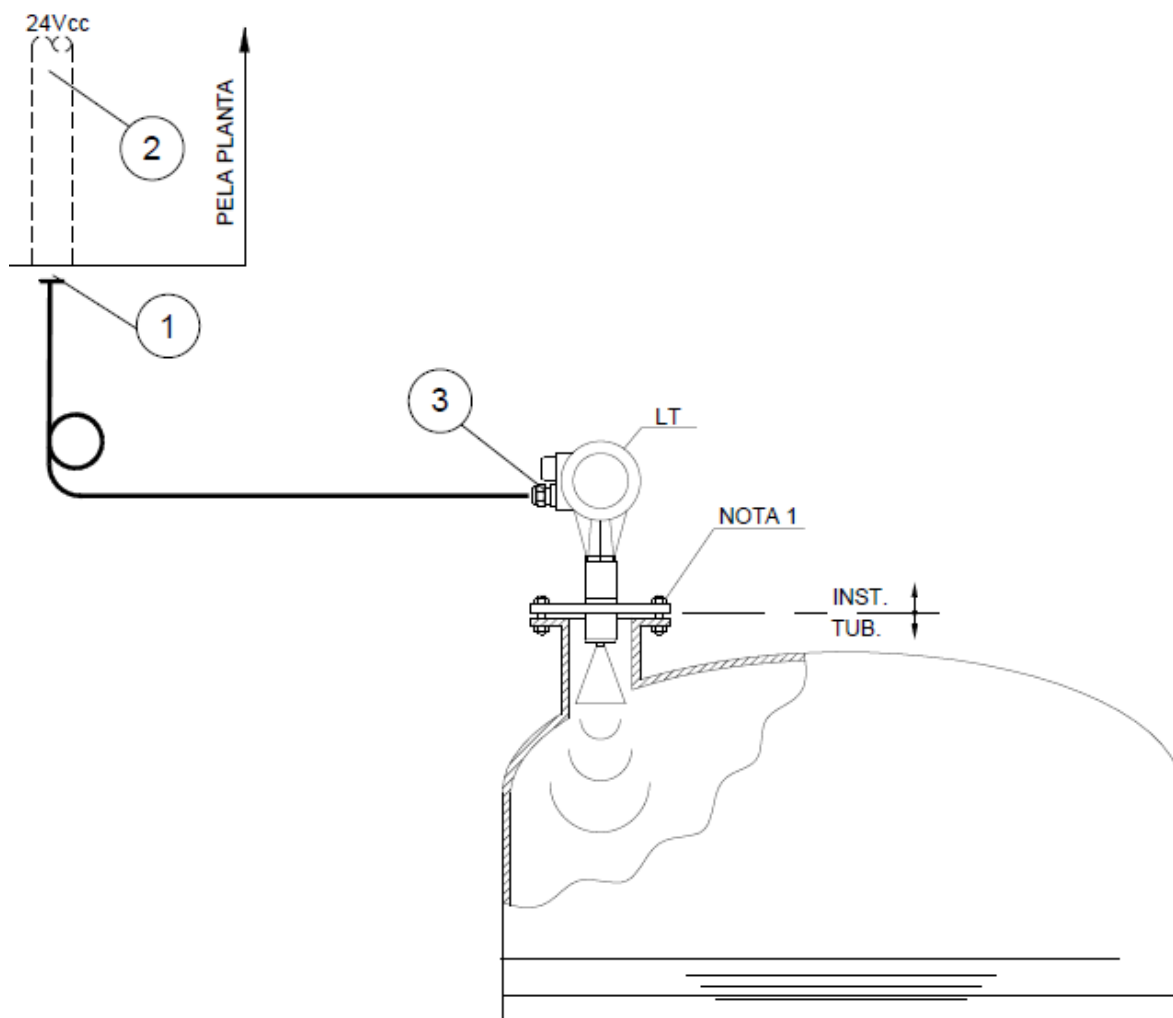
2 - COMPRIMENTO DE CABO EXPOSTO, M3XIMO 300mm.

DESENHO 3 APENAS ILUSTRATIVO. CONSULTAR DOCUMENTA33O DO FABRICANTE PARA DETALHES ESPEC3FICOS.

Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Transmissores de nível tipo radar (Figura 30), LT-316 (silo de armazenamento de ureia T-316) e o LT-317 (silo de armazenamento de ureia T-317), com alimentação em 24 Vcc e sinal de saída 4 a 20 mA em protocolo HART.

Figura 30 – Transmissores de nível tipo radar



NOTAS:

1 - PARAFUSOS, JUNTAS E PORCAS PELA TUBULAÇÃO.

DESENHO É APENAS ILUSTRATIVO. CONSULTAR DOCUMENTAÇÃO DO FABRICANTE PARA DETALHES ESPECÍFICOS, DIMENSIONAIS, ETC.

2 - COMPRIMENTO DE CABO EXPOSTO, MÁXIMO 300mm.

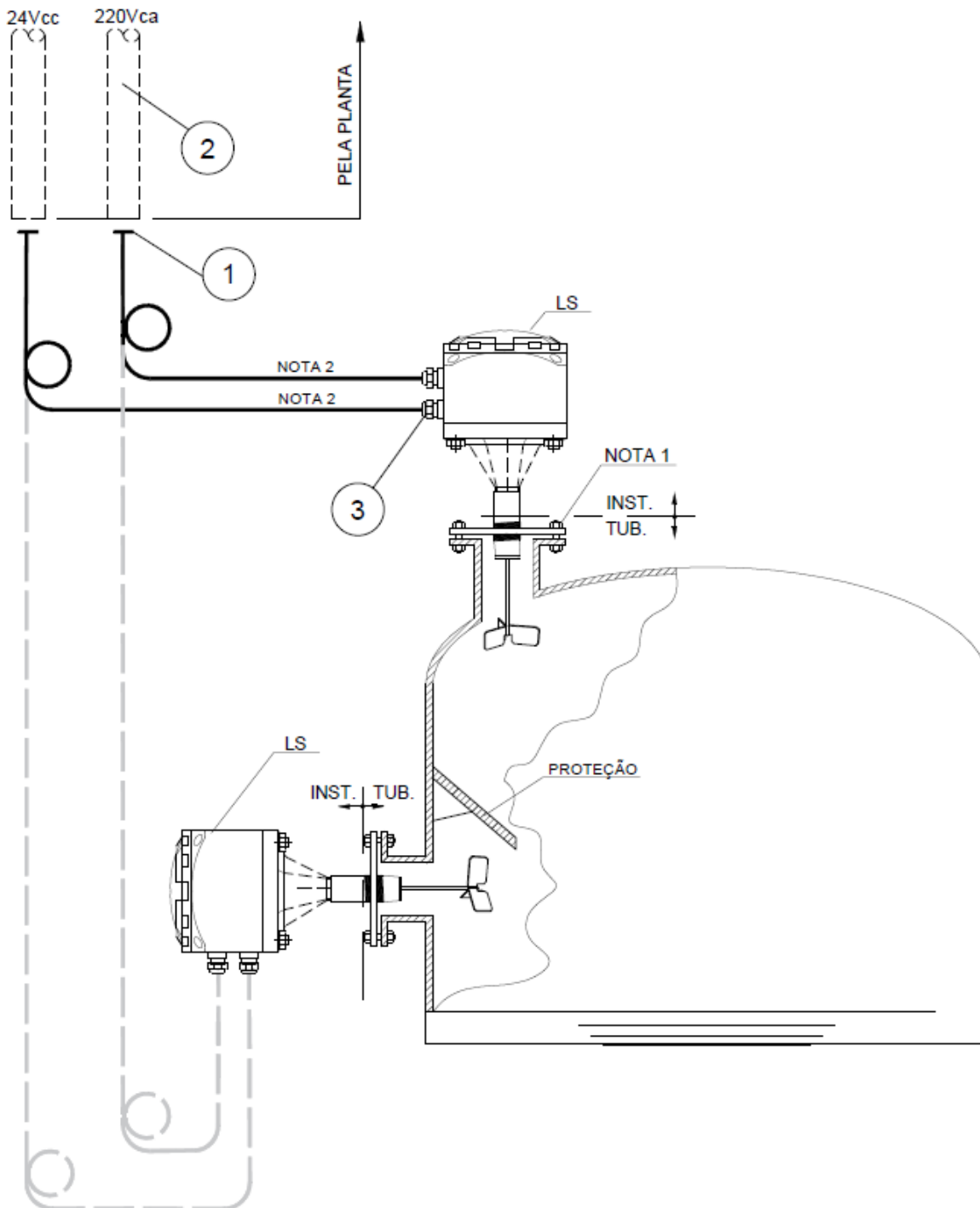
DESENHO É APENAS ILUSTRATIVO. CONSULTAR DOCUMENTAÇÃO DO FABRICANTE PARA DETALHES ESPECÍFICOS.

Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Chave de nível tipo pá rotativa (Figura 31), LSH-211 (carregamento de ureia para A-211 para o equipamento T-211), LSH-221 (carregamento de ureia para A-221 para o T-221), LSH-231 (carregamento de ureia para A-231 para o T-231), LSH-316 (silo para armazenamento de ureia T-316), LSH-317 (silo para armazenamento de ureia T-317), LSH-318 (silo balança de ureia T-318), LSL-316 (silo para armazenamento de ureia T-316), LSL-317 (silo para armazenamento de ureia T-

317), instrumentos com alimentação em 220 V_{CA}, alimentação dos contatos em 24 V_{CC}.

Figura 31 – Chave de nível tipo pá rotativa



NOTAS:

1 - PARAFUSOS, JUNTAS E PORCAS PELA TUBULAÇÃO.






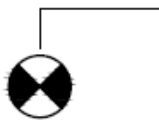



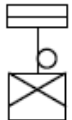
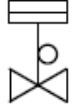
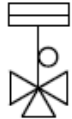
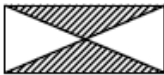
DESENHO É APENAS ILUSTRATIVO. CONSULTAR DOCUMENTAÇÃO DO FABRICANTE PARA DETALHES ESPECÍFICOS, DIMENSIONAIS, ETC.

2 - COMPRIMENTO DE CABO EXPOSTO, MÁXIMO 300mm.

Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

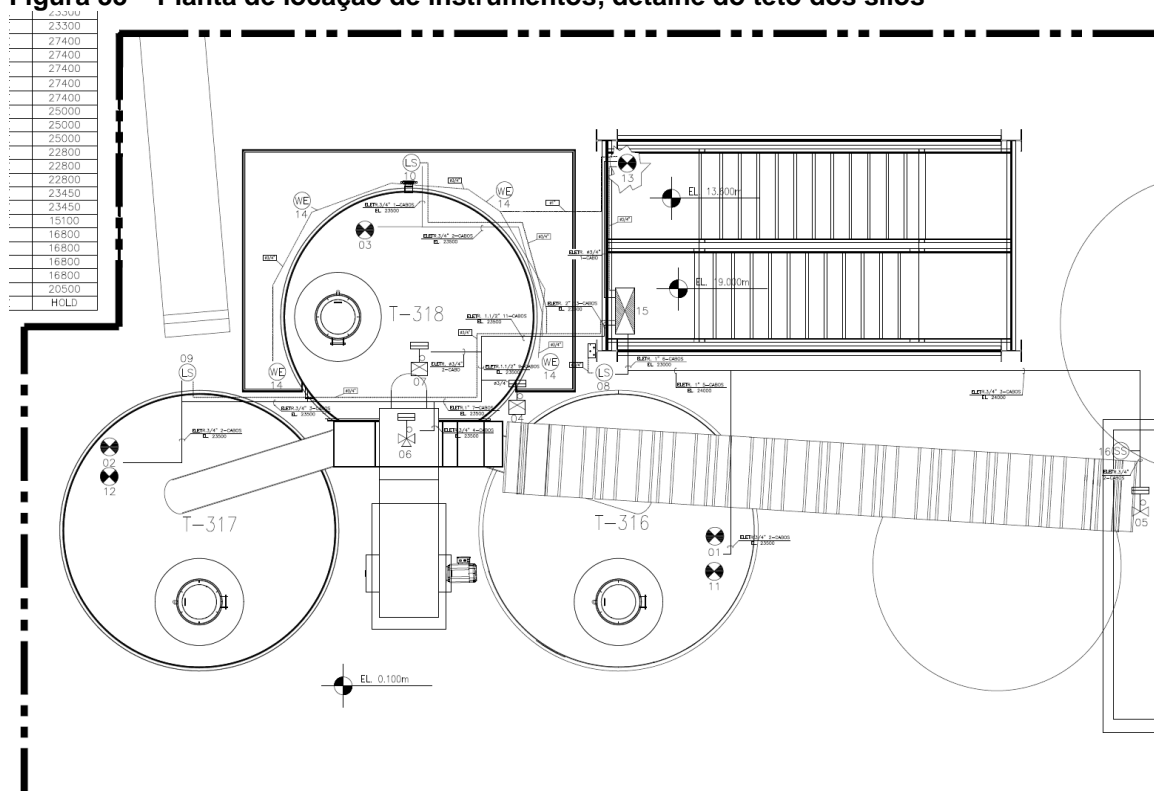
Através da legenda apresentada na Figura 32 pode-se identificar a alocação dos equipamentos nas plantas físicas, Figura 33, Figura 34 e Figura 35, que podem ser vistas com maior detalhamento no ANEXO A – Planta de alocação de equipamentos.

Figura 32 – Legenda para leitura das plantas de alocação

	ELETRODUTO RÍGIDO – SINAIS ANALÓGICO/DIGITAIS
	ELETRODUTO RÍGIDO – ALIMENTAÇÃO 220V PARA INSTRUMENTOS
	ELETRODUTO RÍGIDO – INTERLIGAÇÃO ENTRE ELEMENTO PRIMÁRIO E TRANSM.
	DESCIDA LEITO/ELETROCALHA/ELETRODUTO
	SUBIDA LEITO/ELETROCALHA/ELETRODUTO
	SIMBOLOGIA INSTRUMENTAÇÃO
	– XXX: ITEM DA TABELA (SEQUENCIAL)
	CHAVES DE CAMPO * LSL – NÍVEL BAIXO; * LSHH – NÍVEL MUITO ALTO
	ELETROCALHA/LEITO
	VALVULA SLIDE VALVE
	VALVULA DAMPER DIRECIONAL 2 VIAS
	VALVULA DAMPER DIRECIONAL 3 VIAS
	RENOTAS EM CAMPO

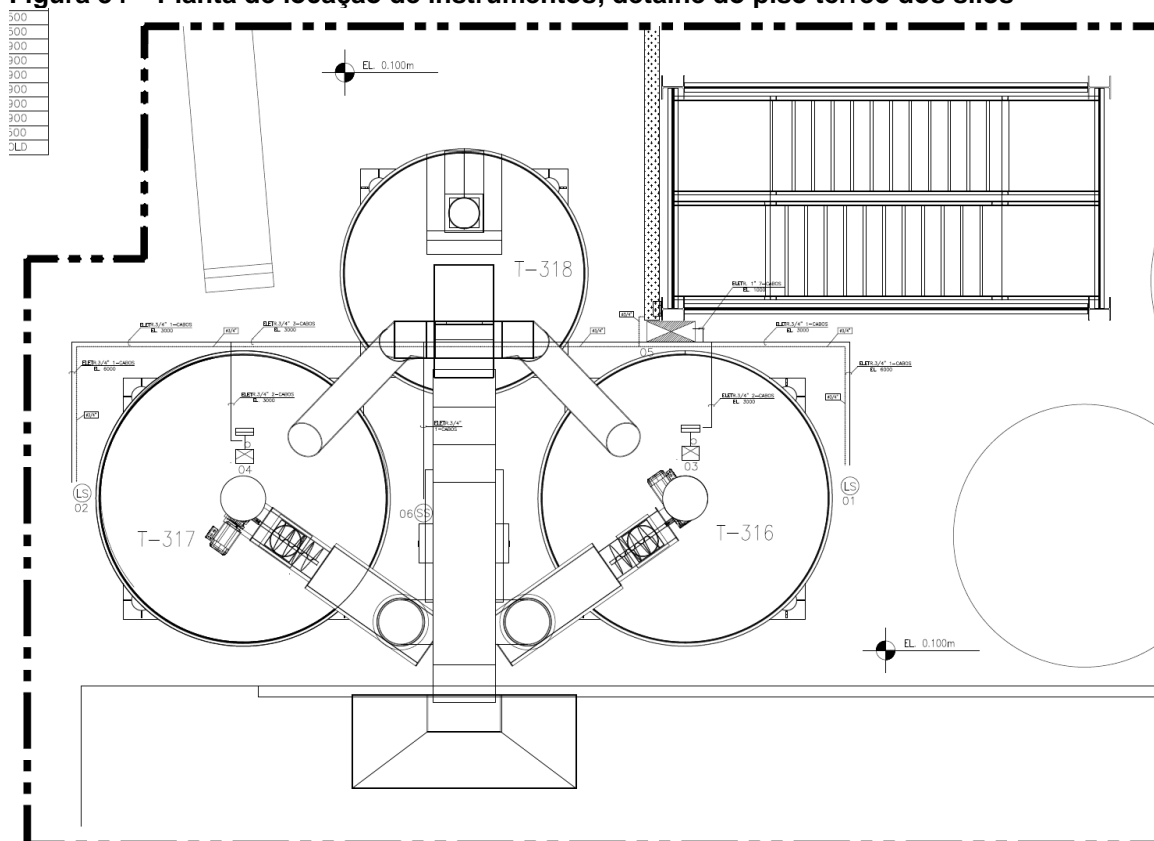
Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Figura 33 – Planta de localização de instrumentos, detalhe do teto dos silos



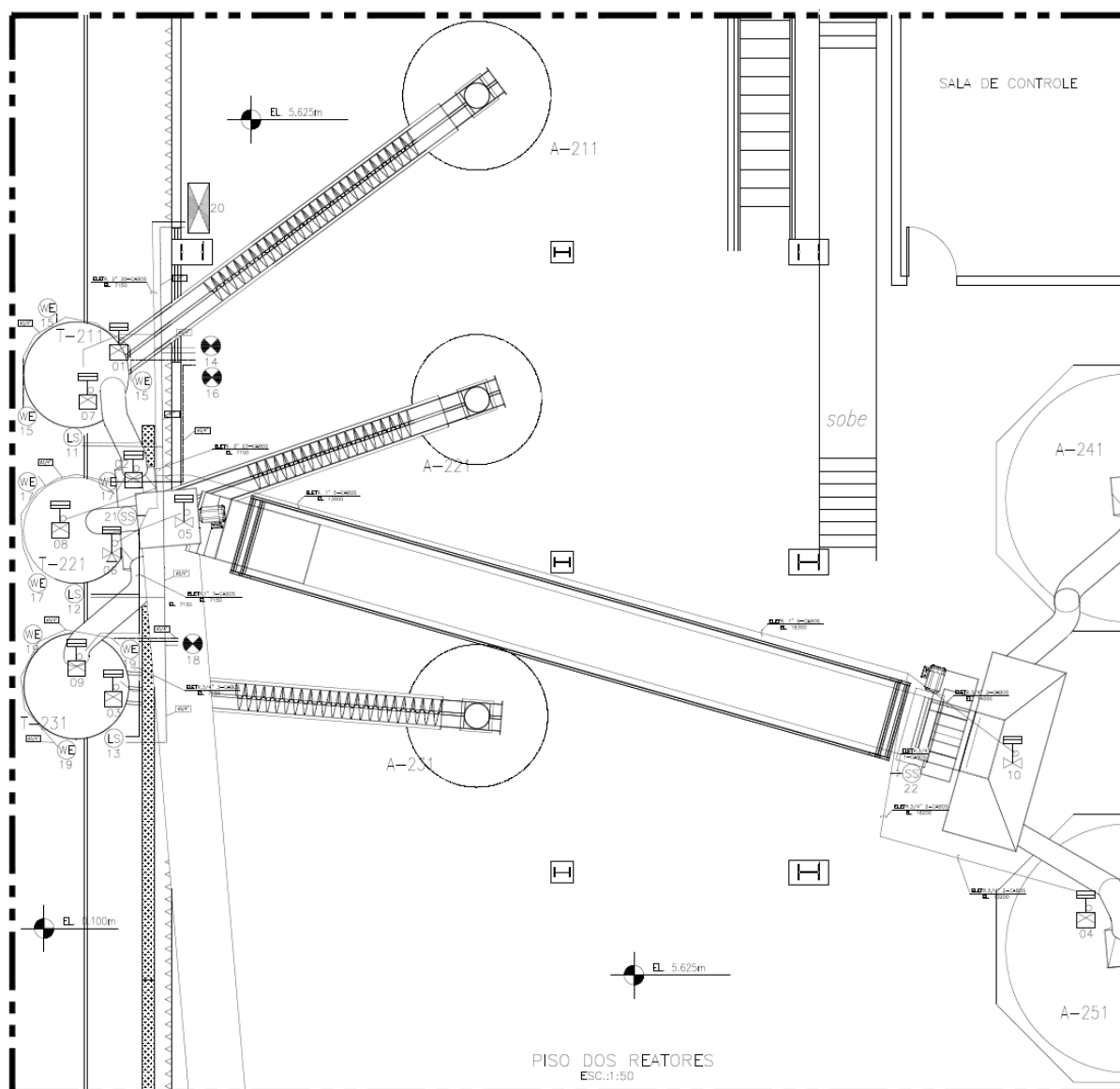
Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Figura 34 – Planta de localização de instrumentos, detalhe do piso térreo dos silos



Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Figura 35 – Planta de localização de instrumentos, detalhe do piso dos reatores



Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

3.4 ESTRUTURA DE COMUNICAÇÃO

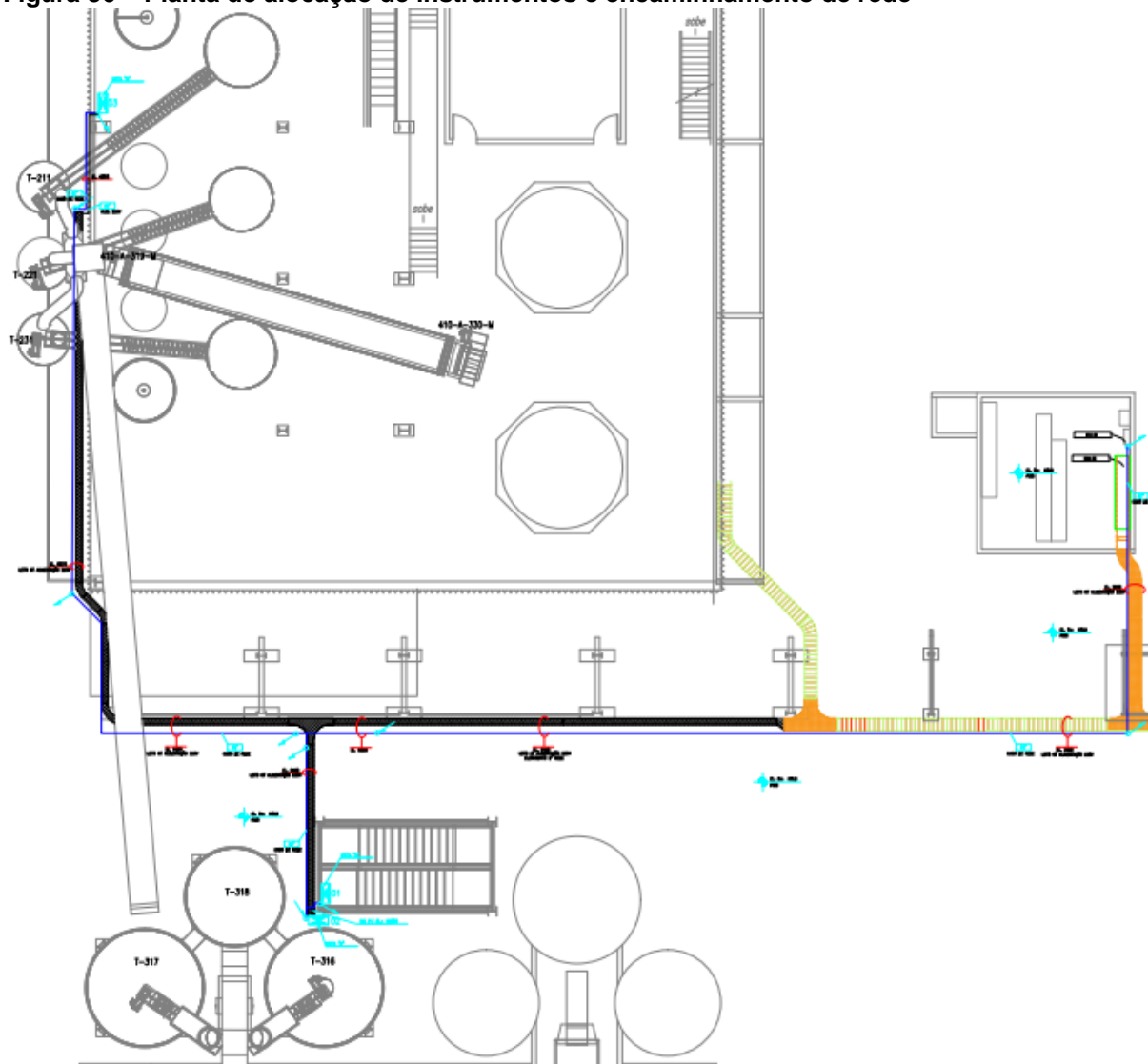
O protocolo de comunicação escolhido para o sistema é o PROFINET, protocolo aberto de comunicação, que trabalha com três tipos de dispositivos diferentes se tratando de aplicações:

- *IO-Controllers* são os CLPs, mestres da rede, responsáveis por estabelecer as conexões com os outros dispositivos, trocar dados e controlar o sistema como um todo.

- *IO-Device* são as remotas, dispositivos escravos da rede, atribuídos à um mestre com a finalidade de receber e enviar dados de uma parte do processo, formando assim um sistema descentralizado.
- *IO-Supervisor* são as estações de engenharia responsáveis pela programação, comissionamento e diagnóstico da rede e dos seus elementos, localizadas na sala de controle.

Encontra-se na Figura 36, a alocação dos instrumentos e encaminhamento de rede, que são detalhados na sequência pela Figura 37 que simboliza a alocação do CLP em compartimento específico do painel elétrico e a Figura 38 representa a topologia escolhida para o projeto em questão.

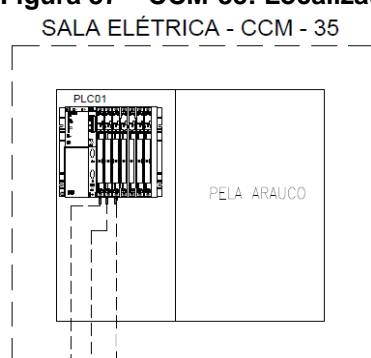
Figura 36 – Planta de alocação de instrumentos e encaminhamento de rede



Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

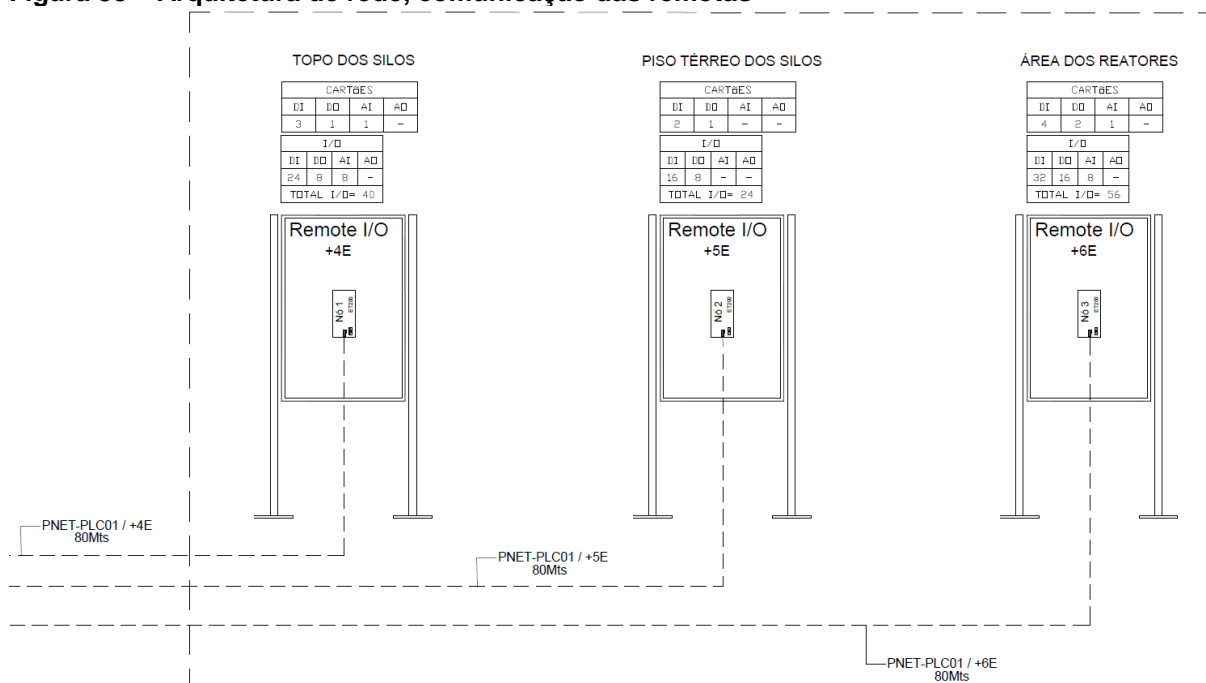
A opção por remotas, dispositivos sem capacidade de processamento, mas com funcionalidades de rede, se dá pois além do ganho de engenharia em programação descentraliza-se parte do processamento dos controladores principais, implicando em ganhos em diferentes aspectos, por ser limitada a capacidade de processamento dos CLPs, a descentralização é necessária quando a automação é extensa e complexa, assim o processamento pode ser dividido em tarefas menores ou em subprocessos simplificados, há também ganhos na facilidade de operar e de diagnosticar falhas nesse tipo de topologia.

Figura 37 – CCM-35: Localização do CLP



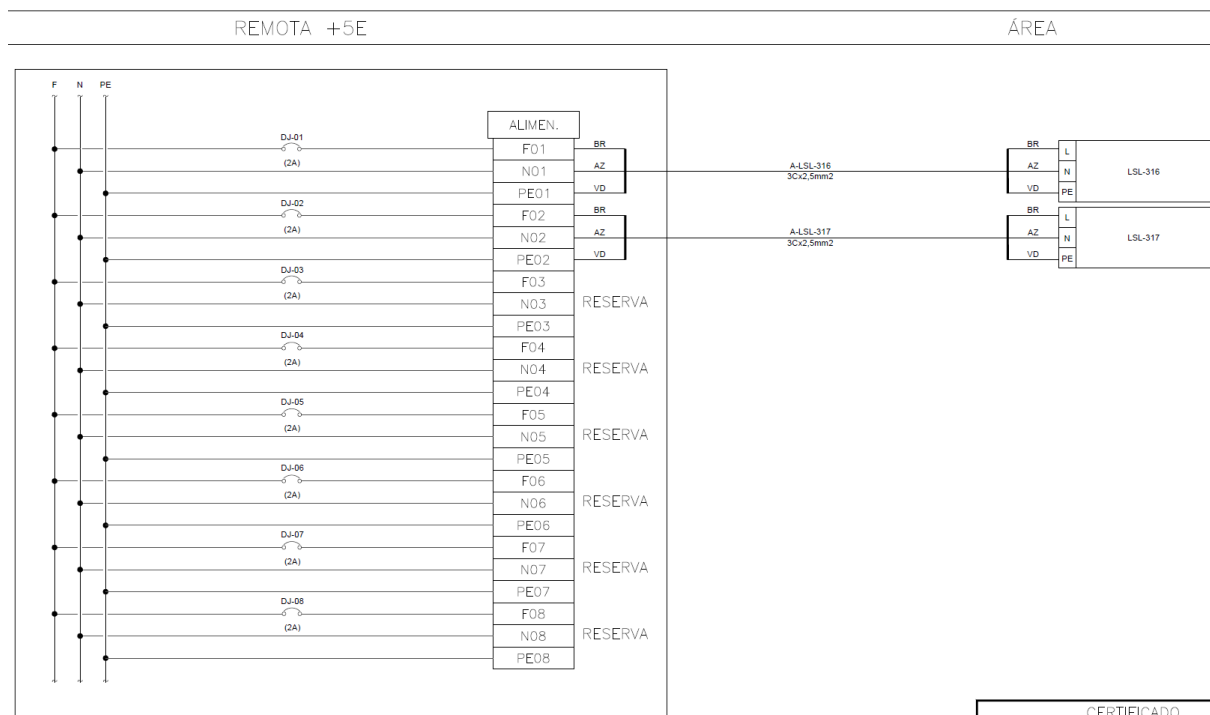
Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Figura 38 – Arquitetura de rede, comunicação das remotas



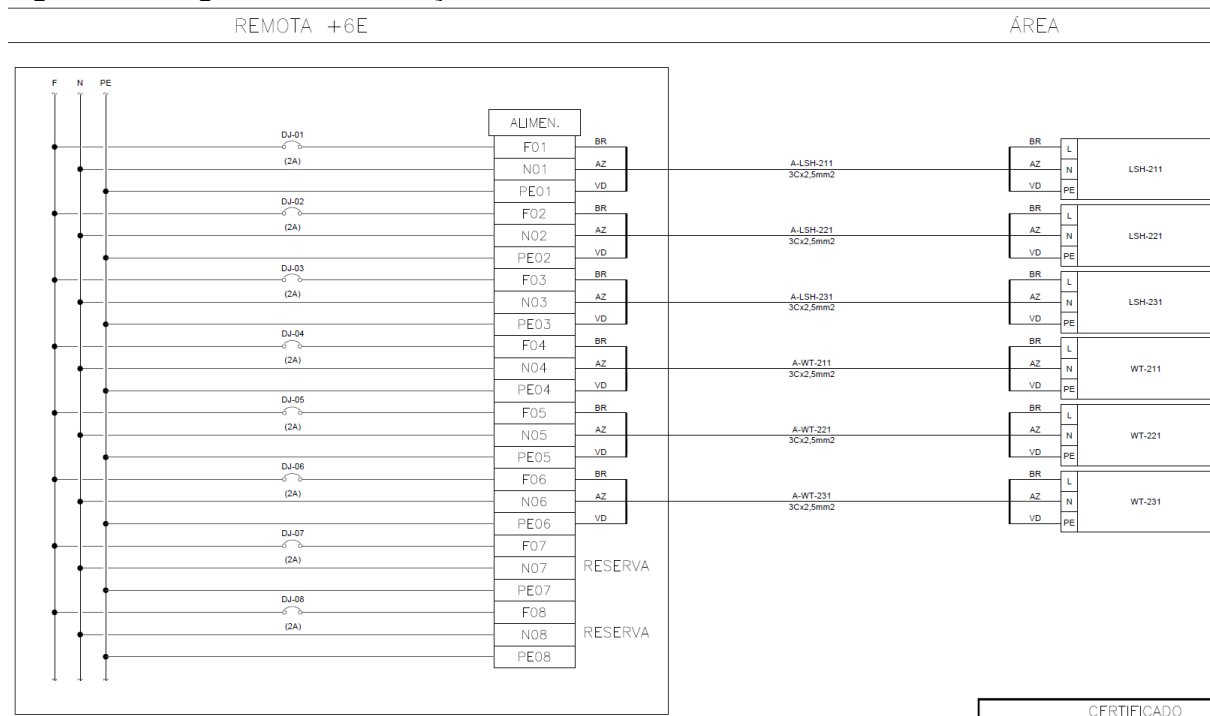
Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Figura 41 – Diagrama de alimentação 220 VCA da remota +5E



Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Figura 42 – Diagrama de alimentação 220 VCA da remota +6E

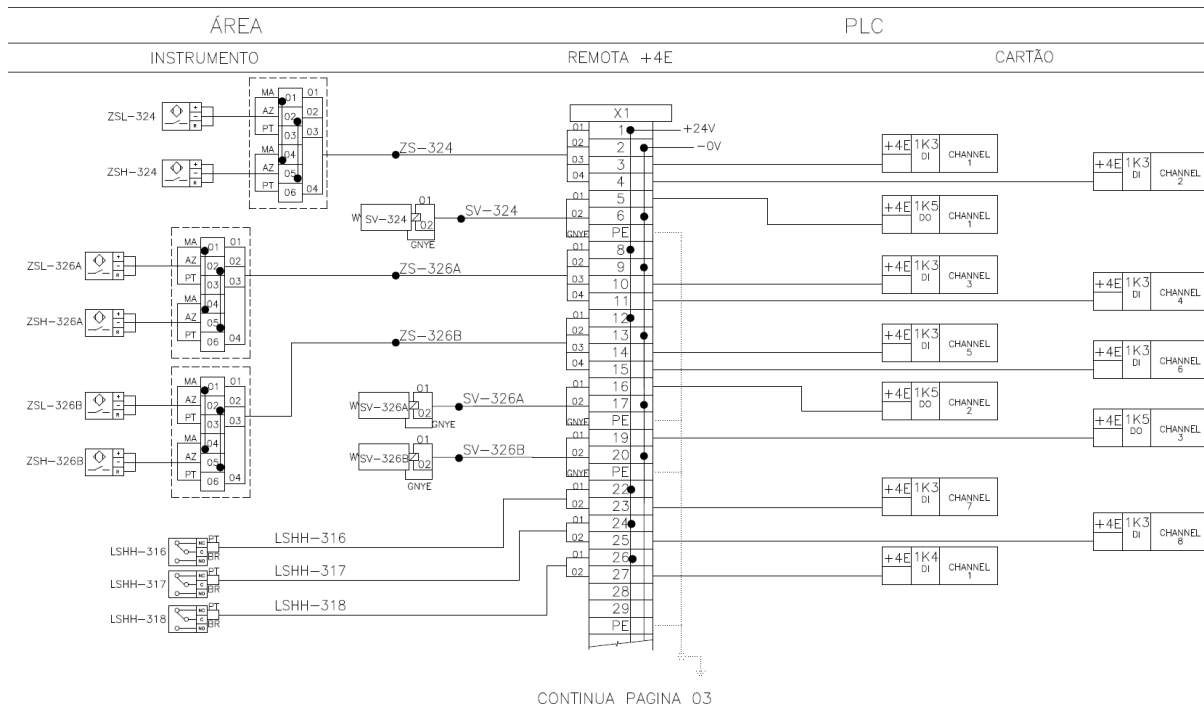


Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Em continuação, verificam-se os diagramas de interligação da instrumentação, na Figura 43, Figura 44, Figura 45, Figura 46, Figura 47, Figura 48,

Figura 49 e Figura 50.

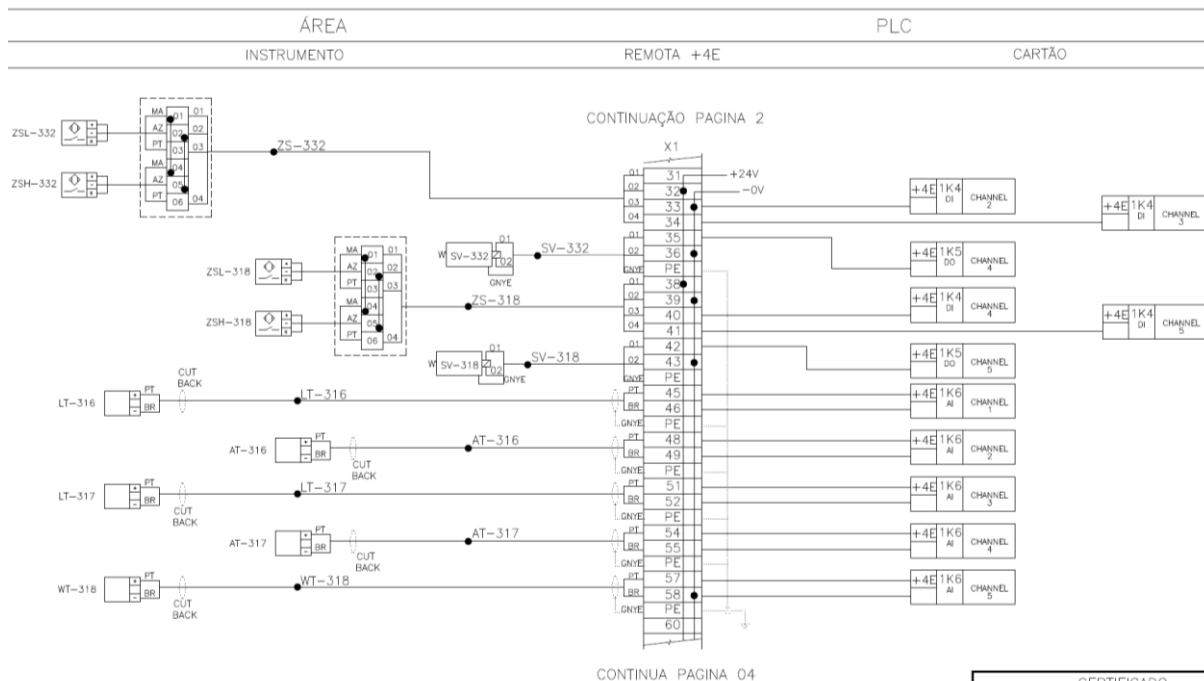
Figura 43 – Diagrama de interligação da remota +4E



CONTINUA PAGINA 03

Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Figura 44 – Diagrama de interligação da remota +4E

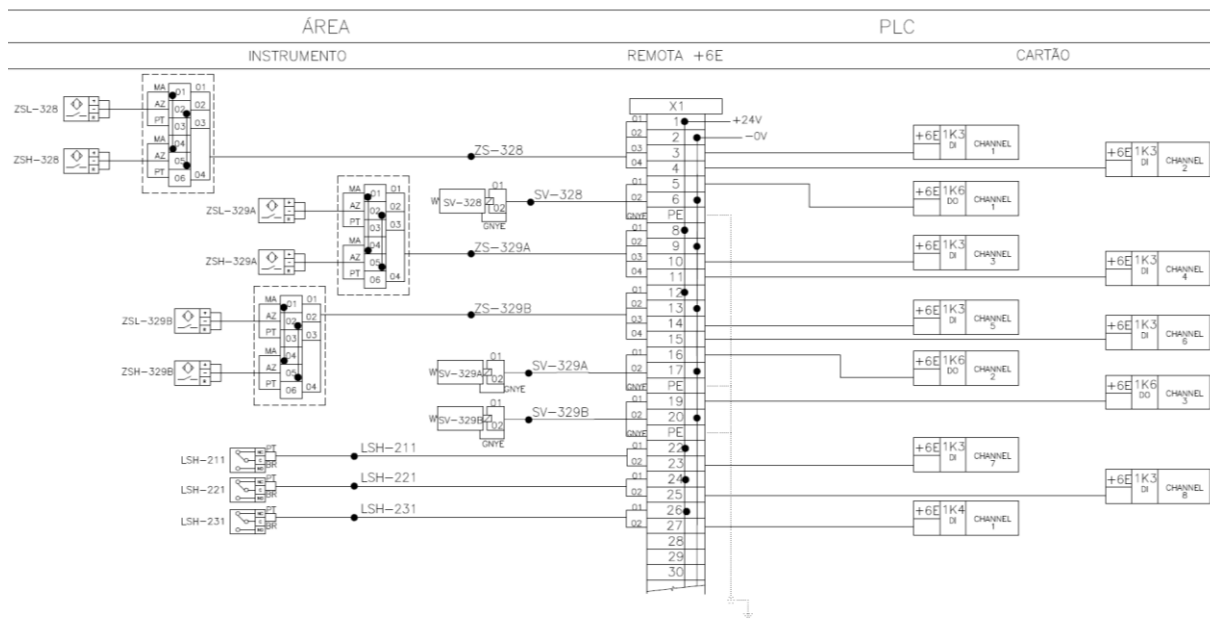


CONTINUA PAGINA 04

CERTIFICADO
CERTIFIED

Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

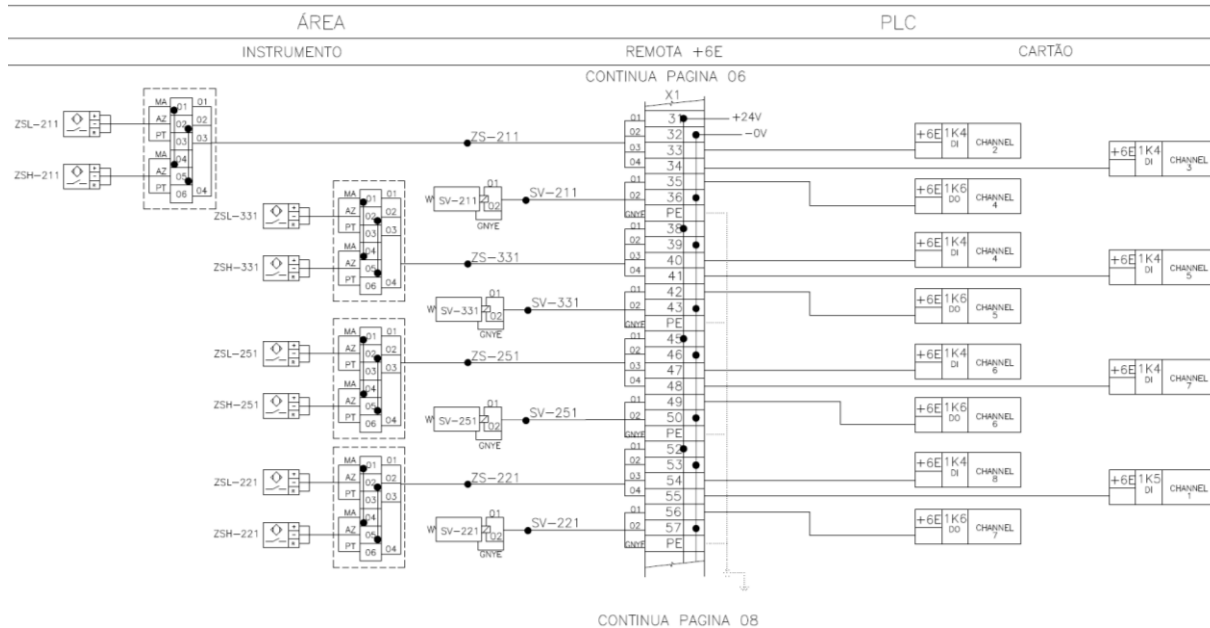
Figura 47 – Diagrama de interligação da remota +6E



CONTINUA PAGINA 07

Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

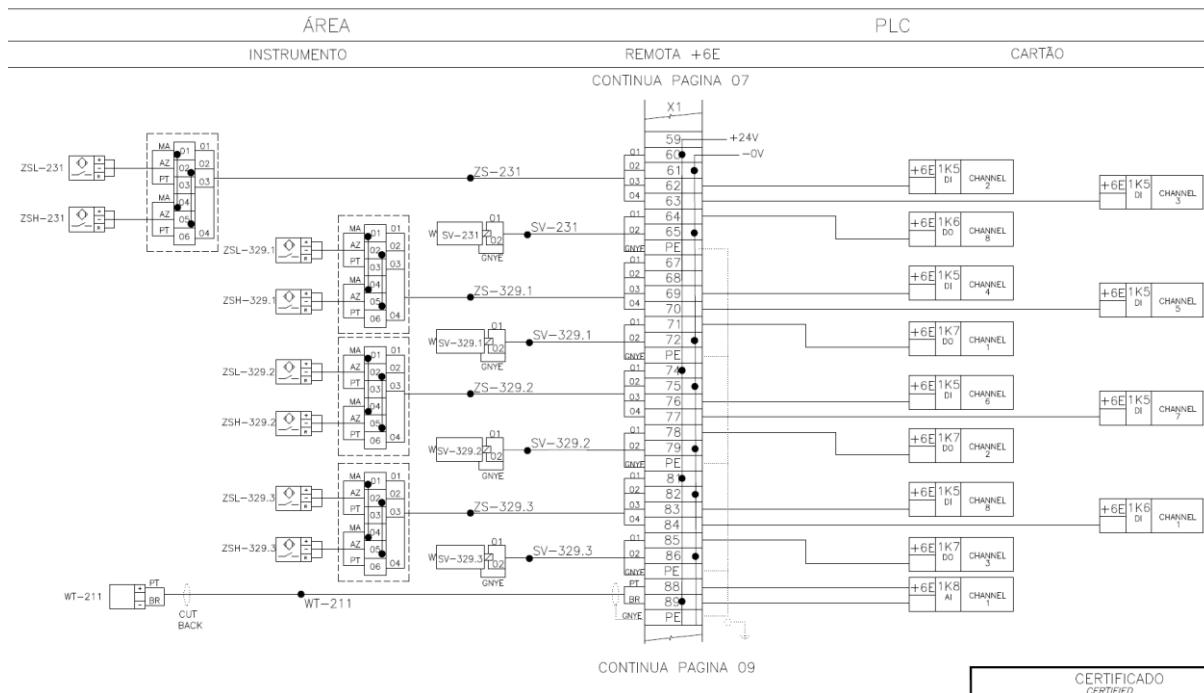
Figura 48 – Diagrama de interligação da remota +6E



CONTINUA PAGINA 08

Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

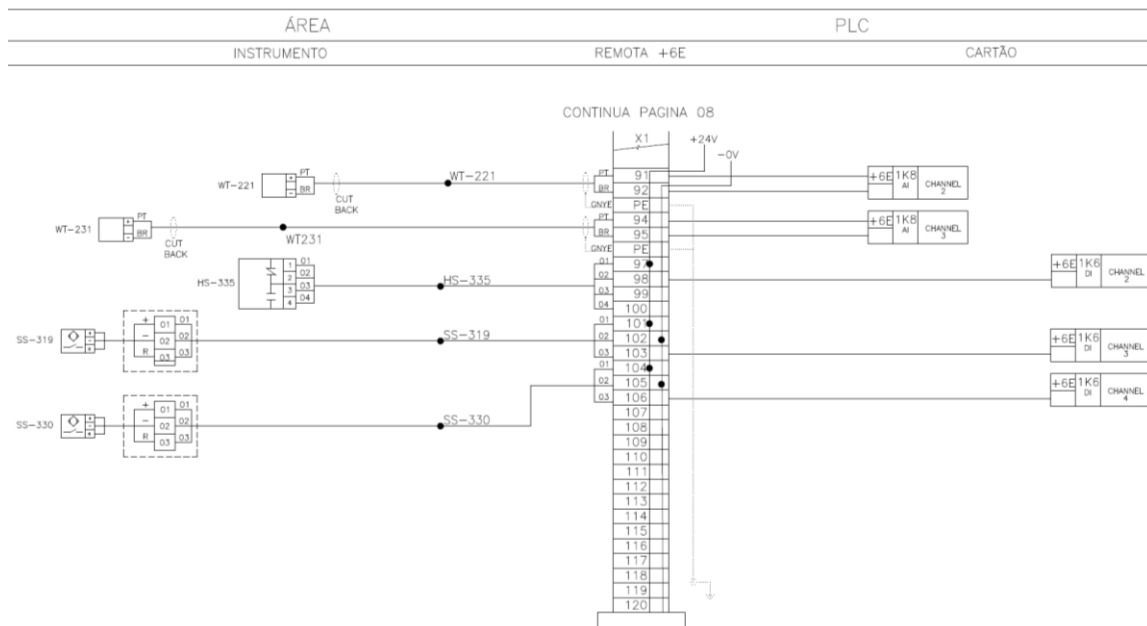
Figura 49 – Diagrama de interligação da remota +6E



Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

CERTIFICADO
CERTIFIED

Figura 50 – Diagrama de interligação da remota +6E



Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

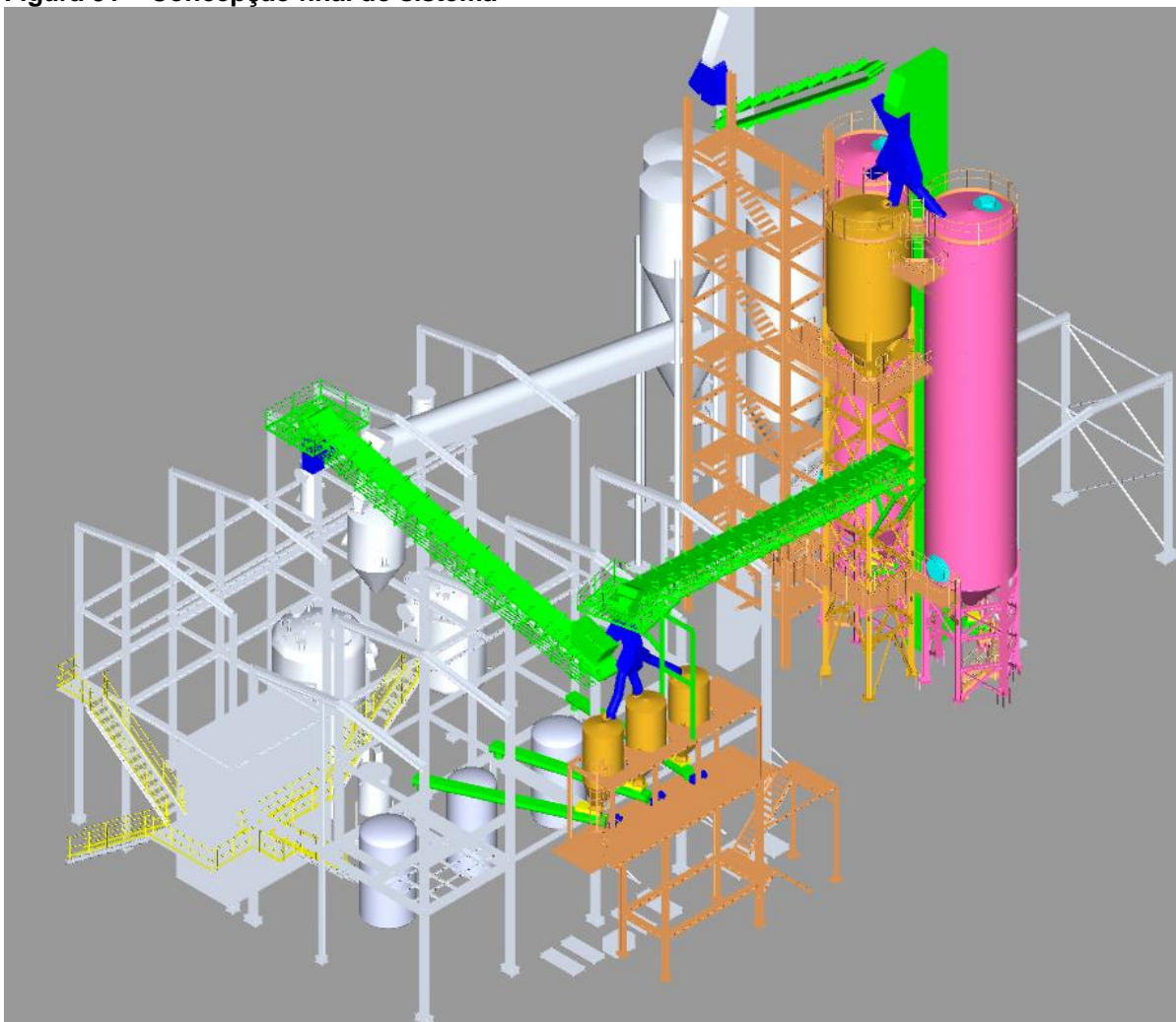
O início do projeto se dá na coleta de dados da aplicação, em busca do máximo de informações para que o projeto de automação atenda às expectativas dos futuros usuários. É necessário conhecer as precisões requeridas pela aplicação, de modo a permitir a especificação mais adequada do CLP e das placas de I/Os que serão utilizadas. Verificar os instrumentos e sensores da aplicação, o nível de automação que pode ser obtido depende principalmente do nível de instrumentação disponível, deve ser especificado com muito critério de acordo com suas próprias peculiaridades.

De modo geral, é importante conhecer alguns detalhes do local onde será instalado o sistema, principalmente as restrições do local da instalação que impactam no custo da aplicação. As distâncias dos equipamentos também são fatores limitantes, estão ligadas ao dimensionamento de cabos de potência, controle e comando, definição de redes e da arquitetura do projeto de automação.

É preciso verificar se há alguma substância inflamável presente no local caracterizando área classificada e as características das substâncias envolvidas como ponto de ignição, ponto de fulgor, limites de inflamabilidade, índice de explosividade, energia mínima de ignição, além das condições ambientais como ventilação, temperatura, altitude, umidade, presença de pós e substâncias corrosivas, juntamente com as condições operacionais e características dos equipamentos de processos nos quais essas substâncias estejam presentes.

A frequência de rede e as tensões disponíveis no local da instalação também restringem a especificação de motores, equipamentos, instrumentos e sensores da aplicação, o que pode representar redução do custo do projeto, evitando-se o uso de transformadores e fontes desnecessárias.

De acordo com objetivos levantados, além da solução proposta e visualizada na Figura 51, para o problema inicial, podemos obter com este trabalho uma ampla visão de um projeto de automação industrial, passando pela definição do escopo, especificação técnica, análise da aplicação na qual se determina quais equipamentos e dispositivos serão usados e a infraestrutura de redes que trata a integração entre todos os equipamentos, com apresentação de documentações técnicas.

Figura 51 – Concepção final do sistema

Fonte: Arquivos internos da Arauco (2019).

Fica claro que o projeto é algo mais que um orçamento, é um documento auxiliar ao próprio processo de acompanhamento do projeto. Porém, nem sempre o projeto é executado antes da solicitação e defesa do investimento, desta forma a maior dificuldade do projeto foi a viabilidade financeira, pois o orçamento realizado ficou estimado em três vezes mais do que o investimento aprovado pela companhia, tornando o projeto inviável para o ano vigente.

Observa-se com clareza os ganhos econômicos que o projeto proporcionará. Devido à automação no sistema de dosagem proporciona o melhor controle de processo e redução na probabilidade de descarte de produtos por estarem fora dos requisitos de qualidade e redução dos impactos ambientais relacionados à geração de efluentes e destinação de resíduos. Além disso, no aspecto de segurança, pode-se observar que a implementação promoverá a redução dos riscos atrelados ao trabalho de elevação e manipulação de cargas, com a eliminação das operações

com içamento de big-bags de ureia, há uma redução significativa nos riscos de acidentes com elevação de cargas.

Um trabalho futuro poderia aprofundar a parte de programação dos controladores do sistema, apresentando o desenvolvimento dos programas que efetuarão os controles dos processos, a configuração do supervisor, desenvolvimento das aplicações referentes as interfaces gráficas até mesmo a implementação dos painéis elétricos, instalações mecânicas e elétricas, configuração dos parâmetros dos equipamentos, energização e testes, contemplando a etapa de operação assistida até que tudo seja ajustado e o cliente interno possa se sentir seguro com a aplicação, pode-se apresentar também a documentação técnica final após o projeto em perfeito funcionamento referente a instruções de operação e manutenção.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, Carlos. **Válvulas de Controle**. Publicado em: 27 jun. 2012. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/enautena/57768-1289-07052012-22020710valvulascontroler2a-1>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

ANTUNES, Cassio Espindola; BOGO, Damian Larsen. **Oficina de introdução a Controladores Lógicos Programáveis (CLP) – Teoria básica, noções de programação e operação**. Mostra de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cidadania (MEPEC), Instituto Federal Catarinense, Campus Blumenau, 24 set. 2018. Disponível em: <<http://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/MEPEC/article/view/442/432>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

ARAUCO. **Arauco do Brasil**. Endereço: R. Luís Franceschi, 2045 - Thomaz Coelho, Araucária - PR, 83707-072. Disponível em: <<https://www.arauco.cl/brasil/>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

BEGA, Egidio Alberto; et al. **Instrumentação Industrial**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 668 p.

CAMARGO, Valter Luis Arlindo; FRANCHI, Claiton Moro. **Controladores lógicos programáveis: sistemas discretos**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009.

DEZURIK. **DeZURIK cast stainless steel knife gate valves (KGN-RSB & KGN-MSU)**. Copyright© DeZURIK, 2019. Disponível em: <<http://www.dezurik.com/products/product-line/gate-valves/knife-gate-valves/dezurik-cast-stainless-steel-knife-gate-valve-kgnrsb-kgnmsu/cast-stainless-steel-knife-gate-valves-kgnrsb-kgnmsu/56/15/>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

EXSTO. **XC201 – Sensores Industriais**. Teoria, Caderno de Experiências e Manual. Copyright© Exsto Tecnologia Ltda, 2013. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/9287104-C-copyright-2013-por-exsto-tecnologia-ltda-todos-os-direitos-reservados-desenvolvido-e-produzido-com-orgulho-no-brasil.html>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

GUTIERREZ, Regina Maria Vinhais; PAN, Simon Shi Koo. **Complexo eletrônico: automação do controle industrial**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 28, p. 189-232, set. 2008. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9536/2/BS%2028%20Complexo%20eletr%C3%B4nico_automacao%20do%20controle%20industrial_P_BD.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.

HOLYKELL. **Structure and Working Principle of Non-contact Radar Level Sensor**. Copyright© Holykell Technology, 2018. Disponível em: <<https://www.holykell.com/news/Structure-and-Working-Principle-of-Non-contact-Radar-Level-Sensor-114.html>>. Acesso em: 29 jan. 2019.

ISA. **ANSI/ISA-5.1-2009, Instrumentation Symbols and Identification**. Copyright© Instrument Society of America (ISA), 2009. Disponível em: <http://integrated.cc/cse/Instrumentation_Symbols_and_Identification.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2019.

MARCOS, Lucas Barbosa. **Metodologia para análise de desempenho do protocolo PROFINET aplicado a redes de comunicação industrial**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-20012014-151056/?&lang=br>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

MTI. **Como funciona uma válvula solenoide 5/2**. Copyright© MASTER Tecnologia Industrial (MTI), 2019. Disponível em: <<https://www.mtibrasil.com.br/como-funciona-valvula-solenoide-52.php>>. Acesso em: 13 jan. 2019.

OLIVEIRA, Vinicius Souza Lima. **Protocolo de comunicação PROFINET para Redes de Automação**. Projeto de graduação. Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, set. 2016.

PINTO, Pedro. **Redes – Sabe o que é o modelo OSI?** Copyright© Pplware.com 2005-2019, post publicado em: 15 set. 2010. Disponível em: <>. Acesso em: 22 jan. 2019.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Automação Industrial**. Copyright© Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 4. ed. Salvador, 1999.

ROURE, Marcel de. **Medição de Nível – Tudo para você virar um especialista no assunto**. Copyright© 2019 Instrumentação e Controle, post publicado em 2018b. Disponível em: <<https://instrumentacaoecontrole.com.br/tudo-sobre-medicao-de-nivel/>>. Acesso em: 22 jan. 2019.

ROURE, Marcel de. **Pirâmide da Automação Industrial – Entenda de uma vez por todas!** Copyright© 2019 Instrumentação e Controle, post publicado em 2018a. Disponível em: <<https://instrumentacaoecontrole.com.br/piramide-da-automacao-industrial/>>. Acesso em: 22 jan. 2019.

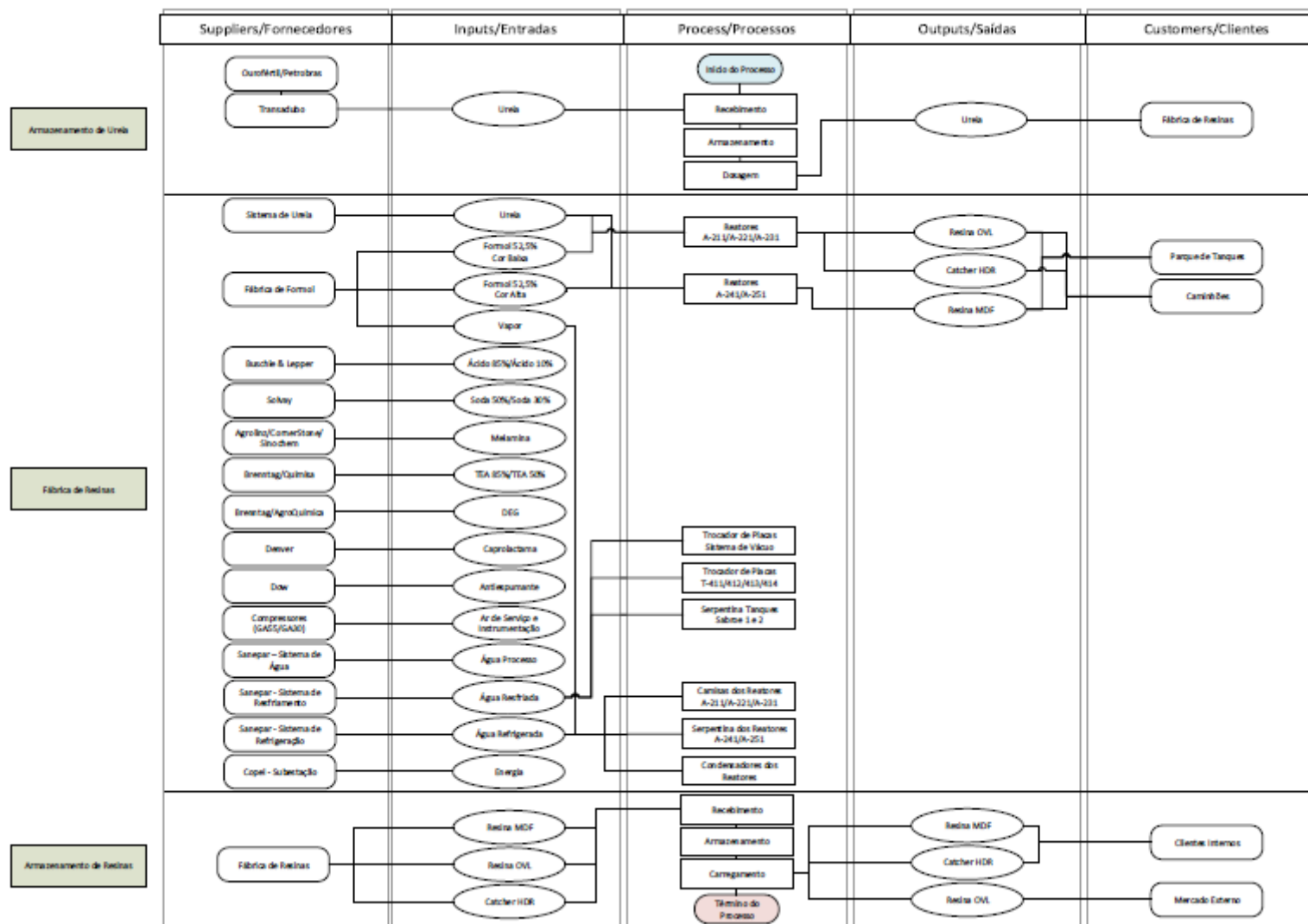
SIEMENS. **SIMATIC S7-400 advanced controller**. Copyright© Siemens AG 2017a. Disponível em: <https://www.automation.siemens.com/w2/efiles/pcs7/pdf/76/ST400_2017_en_Web.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SIEMENS. **SIMATIC PCS 7 process control system**. Copyright© Siemens AG 2017b. Disponível em: <https://www.automation.siemens.com/w2/efiles/pcs7/pdf/76/br_simatic_pcs7_en_2017_Web.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SPS. **Sistemas de pesagem**: Pesagem de silos. Portal informativo sobre Sistemas de Pesagem e Soluções (SPS), 2019. Disponível em: <http://celuladecarga.com.br/sistemasdepesagem/?page_id=77>. Acesso em: 28 jan. 2019.

WOILER, Samsão; MATHIAS, Washington Franco. **Projetos**: Planejamento, elaboração e análise. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

APÊNDICE A – Matriz de produção de resinas



APÊNDICE B – Mapeamento da produção de resinas

