

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

HERBER CUADRO FONTOURA

ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE DEMANDAS E
PADRÕES DE ENTRADA DE BAIXA E MÉDIA TENSÃO DA EQUATORIAL E RGE

Porto Alegre

2023

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

HERBER CUADRO FONTOURA

ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE DEMANDAS E
PADRÕES DE ENTRADA DE BAIXA E MÉDIA TENSÃO DA EQUATORIAL E RGE

Projeto de Diplomação apresentado ao
Departamento de Engenharia Elétrica da Escola
de Engenharia da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul como requisito parcial para
Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Igor Pasa Wiltuschnig

Porto Alegre

2023

RESUMO

O presente trabalho tem o propósito de analisar as principais diferenças encontradas nos regulamentos das concessionárias de energia elétrica Equatorial e RGE para a instalação de novas unidades consumidoras de baixa e média tensão. As análises foram elaboradas a partir de projetos elétricos nessas modalidades utilizando os regulamentos vigentes de cada distribuidora, realizando o cálculo de carga, demanda e enquadramento dos tipos de ligação listados pelas concessionárias. Posteriormente, foi realizada a comparação entre os projetos elétricos, elencando os principais aspectos de divergência entre os de baixa tensão e os de média tensão. Dessa forma, evidenciou-se as diferenças nos cálculos de carga e demanda, os impactos causados no dimensionamento dos padrões de entrada e se destacou, de forma geral, a superioridade no detalhamento dos regulamentos disponibilizados aos consumidores da RGE em comparação com os da Equatorial. A partir deste trabalho, espera-se auxiliar projetistas da área de engenharia elétrica com informações pertinentes para elaboração de projetos elétricos que sejam aceitos em ambas as concessionárias.

Palavras-chave: Baixa Tensão, Demanda, Equatorial, Fornecimento de Energia, Média Tensão, Padrão de Entrada, RGE, Subestação.

ABSTRACT

The present work has the purpose of analyzing the main differences found in the regulations of the Equatorial and RGE electrical energy concessionaires for the installation of new low and medium voltage consumer units. The analyses were elaborated from electrical projects in these modalities using the current regulations of each distributor, carrying out the calculation of load, demand and classification of the connection types listed by the concessionaires. Subsequently, a comparison was made between the electrical projects, listing the main aspects of divergence between low voltage and medium voltage. In this way, the differences in the load and demand calculations were evidenced, the impacts caused by the dimensioning of the input standards and, in general, the superiority in the detailing of the regulations made available to RGE consumers compared to those of Equatorial was highlighted. This work is expected to help designers in the area of electrical engineering with relevant information for the preparation of electrical projects that are accepted by both concessionaires.

Key words: Demand, Equatorial, Input Standard, Low Voltage, Medium Voltage, Power Supply, RGE, Substation.

LISTA DE IMAGENS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Dimensionamento do transformador RGE..... | 25 |
| Figura 2 – Dimensionamento do transformador Equatorial | 29 |
| Figura 3 – Dimensionamento do padrão de entrada RGE (127/220V) | 33 |
| Figura 4 – Dimensionamento do padrão de entrada RGE (220/280V) | 34 |
| Figura 5 – Dimensionamento do padrão de entrada Equatorial (127/220V)..... | 38 |
| Figura 6 – Dimensionamento do padrão de entrada Equatorial (220/380V)..... | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Tabela 1 | – Resumo dos Tipos de Fornecimento de Energia Elétrica do Grupo BT..... | 15 |
| Tabela 2 | – Resumo projeto de instalações elétricas e previsão de carga BT | 21 |
| Tabela 3 | – Descrição do projeto de MT | 30 |
| Tabela 4 | – Previsão de carga (W) a partir da GED 13 da RGE para BT..... | 32 |
| Tabela 5 | – Cálculo de demanda para RGE..... | 32 |
| Tabela 6 | – Parâmetros para o dimensionamento do padrão de entrada RGE..... | 35 |
| Tabela 7 | – Dimensionamento de poste e caixa de medição RGE | 36 |
| Tabela 8 | – Previsão de carga (W) a partir da NT 0001 Equatorial em BT..... | 36 |
| Tabela 9 | – Cálculo de demanda para Equatorial | 37 |
| Tabela 10 | – Parâmetros para o dimensionamento do padrão de entrada Equatorial..... | 40 |
| Tabela 11 | – Dimensionamento de poste e caixa de medição Equatorial..... | 41 |
| Tabela 12 | – Determinação da carga do projeto RGE | 42 |
| Tabela 13 | – Demanda do projeto RGE..... | 42 |
| Tabela 14 | – Determinação da carga do projeto RGE | 43 |
| Tabela 15 | – Fator de potência da instalação RGE..... | 43 |
| Tabela 16 | – Dimensionamento do capacitor para correção do FP RGE | 43 |
| Tabela 17 | – Dimensionamento de demanda da RGE | 44 |
| Tabela 18 | – Dimensionamento dos elementos que compõe a SE RGE | 44 |
| Tabela 19 | – Cálculos de carga instalada e demanda do projeto Equatorial..... | 45 |
| Tabela 20 | – Fator de potência da instalação Equatorial | 46 |
| Tabela 21 | – Dimensionamento do capacitor para correção do FP Equatorial..... | 46 |
| Tabela 22 | – Dimensionamento de demanda da Equatorial | 46 |
| Tabela 23 | – Dimensionamento dos elementos que compõe a SE Equatorial..... | 47 |
| Tabela 24 | – Valores de previsão de carga e demanda para GED 13 e NT 001..... | 48 |
| Tabela 25 | – Comparação dos parâmetros de dimensionamento do padrão de entrada | 49 |
| Tabela 26 | – Valores de carga e demanda para GED 2855 e NT 002 | 50 |
| Tabela 27 | – Elementos que compõe a SE..... | 52 |

LISTA DE ABREVIACOES

| | |
|----------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ART | Anotação de Responsabilidade Técnica |
| BT | Baixa tensão |
| CEEE-D | Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica |
| CPFL | Companhia Paulista de Força e Luz |
| EPR | Etileno-propileno |
| FD | Fator de demanda |
| FP | Fator de potência |
| GED | Gerenciamento Eletrônico de Documentos |
| kV | Quilovolt |
| kVA | Quilovolt-ampre |
| kW | Quilowatts |
| m ² | Metro quadrado |
| MT | Média tensão |
| NBR | Norma técnica brasileira |
| NR | Norma Regulamentadora |
| NT | Norma Técnica |
| PRODIST | Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional |
| PVC | Policloreto de Vinila |
| RGE | Rio Grande Energia |
| REN | Resolução normativa |
| SE | Subestação |
| UC | Unidade Consumidora |
| VA | Volt ampere |
| XLPE | Polietileno reticulado |

SÚMARIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 12 |
| 2.1 Tipos de fornecimentos em Baixa Tensão | 13 |
| 2.1.1 Cálculo de carga e de demanda do Grupo BT | 15 |
| 2.1.2 Carga e demanda RGE - BT | 16 |
| 2.1.3 Carga e demanda Equatorial - BT | 17 |
| 2.1.4 Dimensionamento do padrão de entrada – BT | 18 |
| 2.1.5 Projeto comparativo entre RGE e Equatorial para BT | 19 |
| 2.2 Tipos de fornecimento em Média Tensão | 21 |
| 2.2.1 Dimensionamento do ramal de entrada em MT – RGE | 23 |
| 2.2.1.1 Cálculo da carga – RGE | 23 |
| 2.2.1.2 Cálculo da demanda – RGE | 23 |
| 2.2.1.3 Correção do fator de potência – RGE | 24 |
| 2.2.1.4 Dimensionamento do transformador – RGE | 25 |
| 2.2.1.5 Medição e tipos de subestação – RGE | 26 |
| 2.2.2 Dimensionamento do ramal de entrada em MT – Equatorial | 27 |
| 2.2.2.1 Cálculo da carga – Equatorial | 27 |
| 2.2.2.2 Cálculo da demanda – Equatorial | 27 |
| 2.2.2.3 Correção do fator de potência – Equatorial | 28 |
| 2.2.2.4 Dimensionamento do transformador – Equatorial | 28 |
| 2.2.2.5 Medição e tipos de subestação – Equatorial | 29 |
| 2.2.3 Projeto comparativo entre RGE e Equatorial para MT | 30 |
| 3 RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASO | 31 |
| 3.1 Projeto elétrico para Grupo BT | 31 |
| 3.1.1 Dimensionamento do padrão de entrada para RGE em BT | 31 |
| 3.1.2 Dimensionamento do padrão de entrada para Equatorial em BT | 36 |
| 3.2 Projeto elétrico para Grupo MT | 41 |
| 3.2.1 Dimensionamento do padrão de entrada para RGE em MT | 41 |
| 3.2.2 Dimensionamento do padrão de entrada para Equatorial em MT | 44 |
| 4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 48 |
| 4.1 RGE X Equatorial – Baixa tensão | 48 |
| 4.2 RGE X Equatorial – Média tensão | 50 |
| CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS | 53 |
| BIBLIOGRAFIA | 55 |
| APÊNDICES | 57 |

1 INTRODUÇÃO

A Constituição Brasileira garante ao seu povo os chamados direitos sociais, os quais se referem à qualidade de vida do indivíduo e devem ser garantidos pelo Estado. Tendo em vista a vida do homem contemporâneo, o acesso à energia elétrica se mostra indispensável para a execução das funções básicas cotidianas.

O setor elétrico brasileiro é regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que é uma autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia. A ANEEL é responsável por fiscalizar as concessionárias e implementar as políticas e diretrizes para o fornecimento de energia elétrica. Atualmente, no estado do Rio Grande do Sul, as duas maiores empresas que fornecem o serviço de distribuição de energia elétrica à sociedade são Equatorial Energia e RGE (Rio Grande Energia – Grupo CPFL). Para obter acesso ao sistema de distribuição de energia elétrica, o consumidor precisa seguir diretrizes estabelecidas por essas distribuidoras.

A Equatorial Energia adquiriu, no ano de 2021, a empresa CEEE-D (Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica) no estado do Rio Grande do Sul, tomando para si a distribuição de energia elétrica em toda a região pela qual a CEEE-D era responsável. A Equatorial Energia é o terceiro maior grupo de distribuição de energia do Brasil e, atualmente, também opera nos estados do Maranhão, Pará, Piauí, Alagoas, Amapá, Goiás. A empresa conta com mais de 7 milhões de clientes atendidos e uma equipe de aproximadamente 14 mil colaboradores.

A RGE é uma empresa de energia elétrica que atua principalmente no estado do Rio Grande do Sul e foi adquirida pelo grupo CPFL Energia em 2019. Atualmente, a concessionária, que é uma das maiores distribuidoras de energia elétrica do país, atende a mais de 2,9 milhões de clientes em 255 municípios do RS.

Ao realizar um pedido de ligação de energia elétrica, a unidade consumidora (o cliente final) deve atender os requisitos existentes nos regulamentos da concessionária de energia elétrica local. Esses regulamentos são divididos, principalmente, em classes de acordo com a tensão de fornecimento, ou seja, baixa tensão ou média tensão, carga e a demanda das unidades consumidoras. Os regulamentos apresentam a forma de cálculo da carga e de demanda do imóvel, que pode variar entre as concessionárias e, baseado nesses cálculos, podemos verificar quais são os requisitos para a entrada no serviço de energia elétrica.

De maneira geral, os regulamentos de média tensão são aplicados para consumidores que possuem carga e demanda de energia elétrica maior do que a de baixa tensão, como

indústrias, grandes comércios e prédios residenciais de uso coletivo. Já os regulamentos de baixa tensão são aplicados para consumidores com demanda menor, como residências, pequenos comércios e serviços.

Os regulamentos técnicos das concessionárias de energia elétrica são atualizados constantemente, dessa forma, os engenheiros e empresas de engenharia que realizam projetos de instalações elétricas precisam verificar os regulamentos técnicos vigentes no local em que o projeto será executado. Há divergências entre os regulamentos estabelecidos pelas concessionárias Equatorial e RGE, por isso, projetistas precisam verificar de antemão as possíveis diferenças entre as diretrizes de cada concessionária.

Tendo isso em vista, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma comparação entre os regulamentos das concessionárias de energia elétrica Equatorial e RGE para a instalação de novas unidades consumidoras de baixa e de média tensão, visando, principalmente, expor as diferenças entre elas. Para tanto, as análises realizadas se basearam em projetos elétricos nessas duas modalidades de tensão elétrica utilizando os regulamentos vigentes de cada distribuidora, realizando o cálculo de carga e de demanda instaladas e enquadramento dos tipos de ligação listados pelas empresas.

Após isso, realizou-se a comparação entre os projetos elétricos, elencando os principais aspectos de divergência na baixa tensão e na média tensão. Logo, a partir deste trabalho, espera-se auxiliar projetistas da área de instalações elétricas com informações pertinentes e de rápido acesso para elaboração de projetos elétricos que sejam aceitos pela Equatorial e pela RGE dentro do território do estado do Rio Grande do Sul.

De maneira global, esse trabalho visa demonstrar a importância de todos os itens necessários para elaboração de um projeto elétrico envolvendo baixa e média tensão, já que a observação criteriosa dos regulamentos técnicos vigentes garante maior segurança e confiabilidade na entrega do produto final ao consumidor, ou seja, a energia elétrica. Isso vai de encontro à análise realizada por Eduardo Inácio e William Gomes (2018), que teve por objetivo comparar os regulamentos das concessionárias CELESC S/A, CPFL ENERGIA e CEMIG D na elaboração de projetos de redes de distribuição subterrânea de energia elétrica em loteamento, visando elencar seus pontos de divergência. Foi realizado também levantamento de materiais, de equipamentos e de mão de obra, utilizados no projeto de cada concessionária, permitindo comparar o custo do mesmo projeto de acordo com os padrões de cada concessionária.

Ainda, no estudo realizado por Everton Costa (2013), objetivou-se comparar os regulamentos adotados pelas concessionárias na elaboração de projetos de redes de distribuição.

De maneira geral, avaliou-se similaridades e particulares entre as diretrizes adotadas por distribuidoras de diferentes regiões do país, considerando desde o levantamento de dados, determinação da demanda, configuração e traçado da rede, dimensionamento elétrico até o dimensionamento mecânico. Aqui, as concessionárias envolvidas foram CEEE, RGE, AES SUL e CEB, tendo como modelo de aplicação do projeto a região do município de Ijuí.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo a ANEEL, o sistema de distribuição de energia é composto pela rede elétrica e pelo conjunto de instalações e equipamentos elétricos que operam em níveis de alta tensão (superior a 69 kV e inferior a 230 kV), média tensão (superior a 1 kV e inferior a 69 kV) e baixa tensão (igual ou inferior a 1 kV). A resolução normativa de N° 1.000 da ANEEL estabelece as regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica; nela há o estabelecimento de grupos, sendo eles grupos A e B, e subgrupos para o fornecimento de energia elétrica e modalidades tarifárias.

O grupo A é composto por unidades consumidoras (UC's) com conexões de tensão maior ou igual a 2,3 kV ou atendidas com tensão menor que 2,3 kV através de sistemas subterrâneos de distribuição. Além disso, são estabelecidos limites de tensão para o fornecimento de acordo com a carga e a demanda dos clientes.

UC's com carga maior que 75 kW e com demanda contratada menor ou igual a 2.500 kW devem ser conectadas a uma tensão maior ou igual a 2,3 kV e menor que 69 kV. Os clientes que têm sua demanda contratada maior que 2.500 kW devem ser atendidos com tensão maior ou igual a 69 kV. Além dos limites de tensão de fornecimento, o grupo A é subdividido em seis subgrupos que são:

- a) Subgrupo A1: tensão de conexão maior ou igual a 230 kV;
- b) Subgrupo A2: tensão de conexão maior ou igual a 88 kV e menor ou igual a 138 kV;
- c) Subgrupo A3: tensão de conexão igual a 69 kV;
- d) Subgrupo A3a: tensão de conexão maior ou igual a 30 kV e menor ou igual a 44 kV;
- e) Subgrupo A4: tensão de conexão maior ou igual a 2,3 kV e menor ou igual a 25 kV;
- f) Subgrupo AS: tensão de conexão menor que 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

O grupo B é composto por UC's com conexões de tensão menor 2,3 kV e carga instalada igual ou menor que 75 kW em rede aérea e com conexões de tensão menor 2,3 kV até o limite de potência instalada, de acordo com o padrão definido pela distribuidora, para sistemas subterrâneos. Reservado o direito das UC's com atendimento subterrâneo a opção de mudança para o subgrupo AS do grupo A. O grupo B é subdividido em quatro subgrupos que são:

- a) Subgrupo B1: residencial;
- b) Subgrupo B2: rural;
- c) Subgrupo B3: demais classes;
- d) Subgrupo B4: iluminação pública.

Com base nas classificações e critérios estabelecidos pela resolução normativa N° 1.000, fica a cargo das distribuidoras definir o grupo e nível de tensão de seus consumidores. Para realizar essa classificação, as distribuidoras fornecem regulamentos de acesso ao sistema de distribuição de energia nas quais são estabelecidas as formas de cálculos de carga e de demanda, além de definir os aspectos construtivos dos padrões de entrada de energia pelo sistema de distribuição.

As distribuidoras, objeto desse estudo, estabelecem regulamentos diferentes de acordo com o nível de tensão de fornecimento de energia. UC's classificadas como média tensão (MT) são considerados clientes atendidos por tensão primária (com tensão de 13,8 kV até 34,5 kV); os regulamentos que regem a distribuição em MT são o GED 2855 e a NT 002 pela RGE e Equatorial respectivamente. Os clientes com classificação de baixa tensão (BT) são atendidos por tensão secundária (com tensão de 127/220V ou 220/380V); os regulamentos destinados a esses consumidores são o GED 13, por parte da RGE, e NT 001 por parte da Equatorial.

2.1 Tipos de fornecimentos em Baixa Tensão

As UC's que fazem parte do grupo BT atendidas pela RGE e Equatorial podem receber diferentes tipos fornecimento e também o nível de tensão depende do endereço do cliente; ambas as distribuidoras têm regiões de atendimento em 127/220V e 220/380V. São definidos três tipos de fornecimento de energia com custos mínimos mensais distintos referentes à disponibilidade do sistema elétrico da UC, sendo eles: monofásico com custo de 30 kWh, bifásico com custo de 50 kWh e trifásico com custo de 100 kWh (valor em moeda corrente equivalente ao consumo mínimo em quilowatt hora).

A determinação de cada tipo é baseada no número de condutores fase em que o cliente é ligado; clientes enquadrados como monofásico são ligados a um condutor fase do sistema, bifásico são conectados a dois condutores fase e o trifásico têm acesso a três condutores fase. Além dos condutores fase, a distribuidora realiza a ligação do cliente ao condutor neutro do sistema.

A RGE, no seu regulamento GED 13, estabelece critérios mínimos para o fornecimento de energia elétrica para UC's do grupo BT. É definido como deve ser realizado o acesso ao sistema de energia elétrica e qual o tipo de fornecimento a partir da carga do cliente conforme descrito a seguir:

- Se enquadram como monofásico, clientes com carga instalada até 12 kW e tensão de 127/220V ou com carga de até 15 kW nos casos onde a tensão é de 220/380 V;
- Consumidores serão enquadrados como bifásico quando tiverem carga instalada maior que 12 kW e menor ou igual 25 kW para a tensão de 127/220V ou com carga maior que 15 kW e menor ou igual 25 kW nos casos onde a tensão é de 220/380 V;
- Nos casos em que a carga instalada for maior que 25 kW e menor ou igual 75 kW, o cliente será enquadrado como trifásico, independentemente da tensão de fornecimento, sendo necessário a realização do cálculo de demanda da UC para o dimensionamento do padrão de entrada.

Os clientes da Equatorial, pertencentes ao grupo BT, devem seguir o que é estabelecido na NT 001. A forma de classificação para os tipos de fornecimento, da mesma forma que a RGE, é a partir da carga instalada de acordo com os seguintes critérios:

- A ligação monofásica se destina a consumidores com carga instalada até 10 kW e tensão de 127/220 V e até 12 kW para clientes com tensão de 220/380 V;
- Somente clientes com tensão de 127/220 V podem ter acesso à ligação bifásica, a partir da publicação da NT 001, desde que sua carga seja maior que 10 kW e menor ou igual 15 kW. Não há previsão de acesso ao tipo de fornecimento bifásico para clientes com tensão de 220/380 V na NT 001 publicada em maio de 2022;
- Serão enquadrados como ligação trifásica os consumidores que tiverem carga superior a 15 kW e menor ou igual a 75 kW para tensão de 127/220 V e carga superior a 12 kW e menor ou igual 75kW quando o fornecimento de tensão é de 220/380 V; UC's com ligações trifásicas devem realizar o cálculo de demanda para o dimensionamento do padrão de entrada.

A Tabela 1 apresenta um resumo de como os tipos de fornecimento de energia são realizados pelas duas empresas, contudo, os clientes que se enquadrarem como monofásicos podem migrar para o sistema bifásico ou trifásico, assim como clientes com ligação bifásica podem alterar para ligação trifásica. Para tanto, eles deverão ajustar o padrão de entrada conforme o tipo de fornecimento solicitado e aceitar que distribuidora realize a cobrança da taxa de serviço de acordo com sistema adotado.

Tabela 1 – Resumo dos Tipos de Fornecimento de Energia Elétrica do Grupo BT

| Tipos de Fornecimento | RGE | | EQUATORIAL | |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|
| | 127/220 V | 220/380 V | 127/220 V | 220/380 V |
| | Carga [kW] | Carga [kW] | Carga [kW] | Carga [kW] |
| Monofásico | ≤ 12 | ≤ 15 | ≤ 10 | ≤ 12 |
| Bifásico | >12 e ≤ 25 | >15 e ≤ 25 | >10 e ≤ 15 | - |
| Trifásico | >25 e ≤ 75 | >25 e ≤ 75 | >15 e ≤ 75 | >12 e ≤ 75 |

Fonte: O Autor, 2023.

2.1.1 Cálculo de carga e de demanda do Grupo BT

O cálculo de carga e de demanda de instalações elétricas deve ser realizado a partir do projeto elétrico das UC's. As duas distribuidoras em questão recomendam que seus clientes de baixa tensão utilizem a NBR 5410:2008, a norma brasileira que determina como devem ser realizadas as instalações elétricas dessa modalidade. Entretanto, a RGE, em seu regulamento para clientes de BT, o GED 13, apresenta a forma de cálculo de carga e de demanda que seus clientes devem utilizar para verificar qual o tipo de fornecimento e dimensionamento do padrão de entrada. Em contrapartida, a Equatorial em seu regulamento para BT, a NT 001, apresenta somente a forma de cálculo de demanda para realização do dimensionamento do padrão de entrada de energia dos seus consumidores.

A carga instalada é soma das potências nominais dos equipamentos elétricos instalados na UC e em condições de entrar em funcionamento, expressa em kW. Dessa forma, para realizar o cálculo da carga instalada é necessário que sejam mapeados todos os equipamentos elétricos que estão presentes na UC e que seja previsto os que serão instalados (REN 1.000, 2021; COTRIM, 2009).

No entanto, realizar esse mapeamento não é algo trivial por conta da quantidade elevada de equipamentos elétricos que são utilizados. Assim, a NBR 5410:2008 determina quantidades mínimas de pontos de luz, pontos de tomadas de uso geral (TUG) e pontos de tomadas de uso específico (TUE) nos projetos de instalações elétricas, estipulando a potência desses pontos como forma de auxiliar no cálculo de previsão de carga instalada.

2.1.2 Carga e demanda RGE - BT

O regulamento da RGE fornece a seus clientes uma forma de realizar o cálculo de carga que difere do que é estabelecido pela NBR 5410:2008; o GED 13 estabelece, para clientes residenciais, que o número mínimo de tomadas e suas potências é proporcional a quantidade de área útil (em m²) construída do imóvel até a área limite de 250 m². A partir de 250 m², o cliente deve informar o número de tomadas do imóvel considerando 100 W por tomada, observando a obrigatoriedade de somar a carga mínima de 600 W para três tomadas na cozinha. Em relação aos pontos de iluminação, deve ser considerado, no mínimo, um ponto por cômodo ou corredor com potência igual a 100 W.

Para o cálculo de carga de TUE's, é fornecido uma lista de eletrodomésticos comuns como chuveiro, micro-ondas e forno elétrico, com os valores estimados de potência para serem utilizados como referência. Além disso, também é informado que, nos casos onde houver outros aparelhos eletrodomésticos com potência igual ou maior que 1.000 W, deve-se considerar a potência indicada pelo fabricante. Além desses valores de potência, o regulamento disponibiliza informações para a previsão de carga de motores elétricos, equipamentos especiais (aparelho de raio x, máquinas de solda, fornos elétricos de indução, entre outros), partida de motores e ponto de recarga para veículos elétricos.

Com a soma de todas as cargas da UC, é possível verificar em qual tipo de fornecimento de energia o cliente irá se enquadrar. No caso da RGE, quando essa soma for superior a 25 kW, independentemente do nível de tensão (127/220 V ou 220/380 V), o consumidor deve realizar o cálculo de demanda que é fornecido pela distribuidora para ser dimensionado o padrão de entrada da UC.

A demanda é a média das potências elétricas ativas ou reativas, injetada ou requerida do sistema elétrico de distribuição durante um intervalo de tempo especificado (RN 1.000, 2021; COTRIM, 2009). A RGE fornece em seu regulamento GED 13 uma expressão matemática para realização do cálculo de demanda apresentada na Equação 1.

$$D = a + b + c + d + e + f + g + h + i \quad (1)$$

Onde:

D = Demanda total da instalação em kVA;

a = Demanda referente a iluminação e tomadas (kVA);

b = Demanda referente a chuveiros, torneiras, aquecedores de água e ferros elétricos (kVA);

c = Demanda referente a aquecedor central (kVA);

d = Demanda de secadora de roupa, forno elétrico, máquina de lavar louça e forno de micro-ondas (kVA);

e = Demanda referente a fogões elétricos (kVA);

f = Demanda referente ao condicionador de ar do tipo janela (kVA);

g = Demanda referente a motores e máquinas de solda a motor (kVA);

h = Demanda Referente a Equipamentos Especiais (kVA);

i = Demanda referente a hidromassagem (kVA).

É demonstrado no regulamento a forma de cálculo dos termos da Equação 1, que é o produto entre a potência instalada, o fator de potência (FP) e o fator demanda (FD), conforme a Equação 2.

$$X = \frac{P*FD}{FP} \quad (2)$$

Onde:

X = Termos da Equação 1 (a, b, c, d, e, f, g, h e i);

P = Potência instalada da carga em kW;

FP = Fator de potência;

FD = Fator de demanda.

O fator de potência é determinado pela razão entre a energia elétrica ativa e a raiz quadrada da soma dos quadrados das energias elétricas ativa e reativa consumidas num mesmo período, enquanto o fator de demanda é a razão entre a demanda máxima num intervalo de tempo e a carga instalada na unidade consumidora. Os valores dos fatores de potência e de demanda são adimensionais e estão entre zero e um; eles são fornecidos pelo regulamento da distribuidora variando de acordo com o tipo de carga, quantidade de equipamentos e potência instalada (RN 1.000, 2021; COTRIM, 2009; CREDER, 2016).

2.1.3 Carga e demanda Equatorial - BT

A Equatorial, em seu regulamento NT 001, não apresenta um método para o cálculo da carga das unidades consumidoras, contudo ela recomenda que as instalações elétricas atendam a NBR 5410:2008 e cita a REN 1.000 ao definir a carga. Dessa forma, supõe-se que, para

realizar o cálculo da carga, utiliza-se o que é estabelecido pela NBR 5410:2008 para as previsões de carga em UC's em fase de projeto ou se deve utilizar os valores de potência indicados pelo fabricante das cargas existentes no imóvel em conjunto com os limites mínimos determinados na NBR 5410:2008.

A partir do cálculo da carga da UC, é possível determinar o tipo de fornecimento de energia elétrica do imóvel e verificar o dimensionamento do padrão de entrada estabelecido pelo regulamento. A NT 001 da Equatorial fornece a equação (Equação 3) para realizar o cálculo de demanda das UC's.

$$D = \frac{a}{FP} + b + \frac{c}{0,85} + \frac{d}{FP_c} + \frac{k \times e}{0,85} + f + g + h + i \quad (3)$$

Onde:

D = Demanda total da instalação em kVA;

a = Demanda das potências, em kW, para iluminação e tomadas de uso geral;

FP = Fator de potência da instalação de iluminação e tomada de uso geral;

b = Demanda de todos os aparelhos de aquecimento em kVA (chuveiro, aquecedores, fornos, assadeiras, fogões, etc.);

c = Demanda em kW de todos os aparelhos eletrodomésticos em geral (geladeiras, televisão, barbeador, som, etc.);

d = Demanda de todos os aparelhos de ar condicionado em kW;

FP_c = Fator de potência da instalação de aparelhos de ar condicionado;

e = Potência nominal dos motores das bombas d'água em kW;

k = 1 para uma bomba e 0,5 para mais de uma bomba;

f = Demanda em kVA de outros motores e máquinas de solda e moto geradoras;

g = Demanda em kVA, das máquinas de solda a transformador;

h = Demanda em kVA, dos aparelhos de Raios-X;

i = Outras cargas não relacionadas em kVA. Neste caso o projetista deverá estipular o fator de demanda característico das mesmas.

2.1.4 Dimensionamento do padrão de entrada – BT

A responsabilidade da instalação do padrão de entrada, que é o ponto de conexão das UC's com a rede elétrica, é de responsabilidade do cliente de acordo com a REN 1.000 da

ANEEL. Fica a cargo das distribuidoras a instalação do ramal de conexão, que é a ligação entre o ponto de derivação da rede elétrica e o ponto de conexão da UC.

O padrão de entrada, para ambas as distribuidoras, tem seu dimensionamento estabelecido através de tabelas. Em se tratando da RGE, é necessário realizar o cálculo de carga e, nos casos em que a carga for superior a 25 kW, é necessário o cálculo de demanda. Já para os clientes da Equatorial, é preciso realizar somente o cálculo de carga da UC para que seja possível determinar o padrão de entrada.

As tabelas de dimensionamento apresentam a composição de equipamentos e as características necessárias do padrão de entrada para cada tipo de ligação. São apresentados os modelos de poste, condutores, caixa de medição, disjuntores, aterramento e demais acessórios para realização da conexão com a rede elétrica. Os postes e caixas de medição que são indicados nas tabelas de dimensionamento são os modelos homologados por cada uma das distribuidoras.

As duas distribuidoras apresentam em seus regulamentos algumas diretrizes para ligação de energia elétrica. Entre elas, consta que o padrão de entrada deve ser construído no limite da propriedade e frontal com a via pública e livre de qualquer obstáculo, o ramal conexão não deve atravessar terrenos de terceiros, o vão do ramal de conexão não deve possuir comprimento superior a 30 metros, o ponto de conexão deve estar a uma distância mínima de 1,20 metro de janelas, sacadas ou terraços, e a altura em relação a calçada varia entre as distribuidoras entre 3,50 metros (mínimo) a 6 metros (máximo).

2.1.5 Projeto comparativo entre RGE e Equatorial para BT

Com o objetivo de comparar os regulamentos vigentes para as duas distribuidoras analisadas, foi elaborado um projeto de instalação elétrica residencial na modalidade de baixa tensão para aplicação dos regulamentos da RGE e da Equatorial. O projeto foi elaborado com base na NBR 5410:2008, na qual é estabelecido o regramento básico a ser seguido para as instalações elétricas de baixa tensão e determinado as quantidades mínimas de pontos de iluminação e tomadas, bem como a previsão de carga.

Conforme a NBR 5410:2008, a iluminação de um ambiente deve seguir as seguintes diretrizes: em cada cômodo, é necessário ter no mínimo um ponto de luz controlado por um interruptor com uma carga mínima de 100 VA para espaços de até 6 m². Para áreas maiores, deve-se adicionar 60 VA para cada 4 m² adicionais.

No caso de banheiros, são exigidos dois pontos de iluminação: um ponto de luz de 100 VA e um segundo ponto na forma de uma arandela com carga de 60 VA. Já a disposição de tomadas em diferentes ambientes é definida da seguinte maneira:

- Para cozinhas, copas, áreas de serviço, lavanderias e espaços semelhantes, é necessário ter, no mínimo, um ponto de tomada para cada 3,50 metros de perímetro;
- Em varandas e banheiros deve haver, pelo menos, um ponto de tomada;
- Nas salas e dormitórios, é exigido um ponto de tomada para cada 5 metros de perímetro;
- Nos demais cômodos com área superior a 2,25 m² e inferior a 6 m² deve haver, no mínimo, um ponto de tomada;
- Para os cômodos com área superior a 6 m², é necessário ter um ponto de tomada para cada 5 metros de perímetro.

A previsão de carga estabelecida (NBR 5410:2008) é a de que se deve atribuir a potência de cada ponto de tomada em função dos equipamentos que ele irá alimentar, estabelecendo valores mínimos para alguns casos. Em cozinhas, copas, áreas de serviço, lavanderias, banheiros e espaços análogos, deve ser atribuído por ponto de tomada a carga de 600 VA, até o limite de três pontos. A partir do terceiro ponto, é necessário atribuir a carga de 100 VA, considerando cada cômodo separadamente. Quando o total de tomadas nesses ambientes for superior a seis pontos, admite-se atribuir carga mínima de 600 VA por ponto de tomada até dois pontos e 100 VA por ponto para os excedentes.

É importante ressaltar que essas cargas são atribuídas separadamente para cada cômodo, ou seja, as regras são aplicadas individualmente para cada espaço mencionado. Nos demais cômodos ou dependências que não foram especificados anteriormente, a carga atribuída a cada ponto de tomada deve ser de 100 VA.

Pela NBR 5410:2008, quando se trata de previsão de tomada de uso específico, a carga prevista deve ser a potência nominal do equipamento que será conectado. Além disso, os pontos de tomada de uso específico devem estar localizados a uma distância de até 1,5 metro do equipamento que será alimentado por eles.

O projeto elétrico elaborado, Apêndice A, contém dez cômodos, sendo eles: suíte, quarto, dois banheiros, corredor, escritório, sala, cozinha, área de serviço e varanda; totalizando cerca de 83 m² de área construída. Foram utilizados 16 circuitos para realizar a distribuição de energia; todos os circuitos elaborados no projeto estão de acordo com a previsão mínima

estabelecida na NBR 5410:2008. A Tabela 2 apresenta o resumo de cargas por cômodo e carga total do projeto; exclusivamente para os pontos de tomada de uso específico se fez uso das previsões de potências mínimas disponibilizadas pelo GED 13 para os equipamentos instalados.

Tabela 2 – Resumo projeto de instalações elétricas e previsão de carga BT

| Dependência | Tamanho | | Ponto de Iluminação | | Pontos de Tomada | | Pontos de tomada - Uso Específico | |
|--|---------------|------------------------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| | Perímetro [m] | Área [m ²] | Nº pontos | Pot. Total [VA] | Nº pontos | Pot. Total [VA] | Aparelho | Pot. Total [VA] |
| Suíte | 16,46 | 12,20 | 2 | 160 | 4 | 400 | Ar condicionado | 1.100 |
| Quarto | 12,00 | 8,00 | 1 | 100 | 3 | 300 | Ar condicionado | 1.100 |
| Corredor | 6,00 | 2,25 | 1 | 100 | - | - | - | - |
| Banheiro 01 | 8,00 | 3,75 | 2 | 160 | 1 | 600 | Chuveiro | 6.500 |
| Banheiro 02 | 8,00 | 3,75 | 2 | 160 | 1 | 600 | Chuveiro | 6.500 |
| Escritório | 12,46 | 8,46 | 1 | 100 | 3 | 300 | Ar condicionado | 1.100 |
| Sala | 17,92 | 19,50 | 2 | 280 | 4 | 400 | Ar condicionado | 1.650 |
| Cozinha | 11,00 | 7,50 | 1 | 100 | 5 | 2.000 | Torneira Elétrica | 5.500 |
| Área de Serviço | 9,00 | 4,50 | 1 | 100 | 3 | 1.800 | Máquina de Lavar | 1.000 |
| Varanda | 20,30 | 12,98 | 3 | 180 | 1 | 600 | - | - |
| Total | 121,14 | 82,88 | 16 | 1.440 | 25 | 7.000 | 8 | 24.450 |
| Total de Previsão de Carga [VA] | | | 32.890 | | | | | |

Fonte: O Autor, 2023.

Na seção de “*Resultados do estudo comparativo*”, será feita a apresentação dos resultados do projeto elétrico para baixa tensão.

2.2 Tipos de fornecimento em Média Tensão

De acordo com a REN 1.000 da ANEEL, os clientes com carga superior a 75 kW e demanda igual ou menor a 2.500 kW serão atendidos em média tensão (MT); essa modalidade tem seus níveis de tensão maior ou igual a 2,3 kV e menor que 69 kV. As concessionárias em análise fornecem diferentes níveis de tensão para os clientes de MT: a RGE disponibiliza acesso às tensões de 15 kV, 25 kV e 34,5 kV, enquanto a Equatorial às tensões de 13,8 kV, 23,1 kV e 34,5 kV. Isso varia em função da localidade das UC's, dado que pode ser consultado nos sites oficiais das concessionárias.

As distribuidoras solicitam que as UC's atendidas em MT tenham o ramal de entrada de acordo com seus regulamentos vigentes e a NBR 14039:2021. De forma geral, para que as UC's sejam conectadas em MT, o cliente deve construir uma subestação (SE) ou posto sem transformação, que será o ponto de conexão com a rede energia primária.

Existem modelos de subestação, padronizados em regulamento, para os usuários de MT. Entre os modelos disponibilizados pelas concessionárias estão as subestações ao tempo, aérea ou no solo, abrigadas em cabines de alvenaria ou concreto armado e as blindadas, em cabines ou cubículos. Todos os consumidores que desejarem acesso à rede primária de energia, deverão apresentar o projeto elétrico da subestação conforme os regulamentos estabelecidos.

A RGE segue o GED 2855 nesse quesito, enquanto, a Equatorial faz uso da NT 002. Ressalta-se que, além dos regulamentos mencionados, as instalações devem estar de acordo com a NBR 14039:2021, norma de instalações elétricas de média tensão de 1 kV a 36,2 kV. A instalação só será energizada quando o projeto for aprovado pela concessionária e tiver a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) de profissional habilitado.

Além dos tipos de subestações, na construção do ramal de entrada de média tensão se deve prever qual o tipo de medição será realizado. De acordo com ambas os regulamentos citados anteriormente, a medição pode ser realizada em média ou baixa tensão, dependendo do tipo de subestação instalada e a potência do transformador.

A determinação do ramal de entrada, para UC's de MT, é realizada através do dimensionamento estabelecido pelos regulamentos de cada concessionária que apresentam os cálculos de carga e demanda. A partir desses cálculos, é possível determinar a potência necessária do transformador da subestação, os modelos com classe de isolamento indicados, sistema de proteção e os demais itens necessários para instalação da subestação.

Outro parâmetro que deve ser levado em consideração é o fator de potência das instalações, pois um baixo fator de potência pode ocasionar sobrecarga em cabos e transformadores, aumento das perdas no sistema, quedas de tensão e desgaste em dispositivos de proteção e manobra. A correção do fator de potência é realizada através da instalação de bancos de capacitores. Esses dispositivos são instalados em diferentes pontos do sistema elétrico: no lado de alta tensão dos transformadores (em uma abordagem centralizada); nos barramentos secundários dos transformadores (de forma centralizada); nos barramentos secundários de áreas com concentração de cargas indutivas (em uma configuração distribuída); e em proximidade às cargas indutivas de maior porte (em uma configuração individual). Além disso, banco de capacitores podem ser fixos automáticos ou junto à carga, dependendo do tipo de instalação (CREDER, 2016; MAMEDE, 2017).

2.2.1 Dimensionamento do ramal de entrada em MT – RGE

2.2.1.1 Cálculo da carga – RGE

Em seu GED 2855, é informado pela RGE que o projetista deve conhecer previamente o valor de carga da instalação, assim como regime de funcionamento, fator de potência e o ramo de atividade da UC. Entretanto, são estabelecidas formas de cálculos para determinação do valor mínimo de carga.

Em seu GED 2856 (anexo do GED 2855), a RGE apresenta tabelas de apoio ao projetista para determinação da carga da UC. O cálculo de carga mínima, em kW, para iluminação e tomadas de uso geral, é determinado de acordo com o tipo de instalação e a área (em m²) da UC. São disponibilizadas informações para cálculo de carga dos equipamentos condicionadores de ar e motores elétricos. Devem ser apresentadas pelo projetista as cargas referentes a aparelhos de aquecimento e equipamentos especiais, como aparelhos de raio-x, máquina de solda, fornos elétricos a arco e demais equipamentos não listados, de acordo com as informações do fabricante.

2.2.1.2 Cálculo da demanda – RGE

O GED 2855 apresenta duas formas para o cálculo de demanda que são dependentes do ramo de atividade da UC, podendo ser de prestação de serviços (hotéis, hospitais, poder público, etc.) e transformação (indústrias de metalurgia, mecânicas, etc.). Para unidades consumidoras que se enquadrem como prestação de serviços, a demanda depende da carga instalada e dos fatores de potência e de demanda. A demanda da instalação é calculada através da Equação 4 com auxílio da Equação 2.

$$D = a + b + c + d + e \quad (4)$$

Onde:

D = Demanda total da instalação em kVA;

a = Demanda referente a iluminação e tomadas (kVA);

b = Demanda referente a equipamentos de utilização específica (kVA);

c = Demanda referente a condicionadores de ar (kVA);

d = Demanda referente a motores elétricos (kVA);

e = Demanda referente a equipamentos especiais (kVA).

Consumidores enquadrados no ramo de atividade de transformação devem utilizar a Equação 5 para determinação da demanda da instalação.

$$P = C.I \times FD \quad (5)$$

Onde:

P = Demanda estimada em kW;

$C.I$ = Somatória da carga instalada em kW;

FD = Fator de demanda.

O fator de demanda deve ser apresentado para cada caso particular pelo projetista responsável, sendo esse dado de sua inteira responsabilidade. Ressalta-se que, para edificações de múltiplas unidades consumidoras, os cálculos de carga e demanda são demonstrados através de regulamento específico, sendo ele o GED 119. Nele se indica que a demanda pode ser obtida através da área útil da edificação; a demanda total será o somatório das demandas dos subgrupos (iluminação, PTUG, PTUE) de cargas, multiplicado pelo coeficiente de simultaneidade disponibilizado pelo regulamento que depende dos números de apartamentos.

2.2.1.3 Correção do fator de potência – RGE

Antes de realizar o dimensionamento do transformador, é necessário analisar o fator de potência da instalação (FP); de acordo com a REN 1.000 da ANEEL, o fator de potência mínimo estabelecido é de 0,92. Dessa forma, nos casos em que esse valor da instalação projetada for inferior, é necessário realizar a correção do fator de potência com a utilização de capacitores que irão fornecer potência reativa ao sistema, conseqüentemente, elevando o FP da instalação.

A correção do fator de potência se faz necessária porque, de acordo com a REN 1000 da ANEEL, as distribuidoras de energia elétrica deverão cobrar pela demanda de energia reativa (indutiva ou capacitiva) excedentes das UCs pertencentes ao grupo A de tarifação, incluindo clientes do grupo A com tarifa do grupo B. Além disso, o dimensionamento e tipo de instalação do capacitor devem ser de acordo com o perfil consumo da UC, pois os capacitores são dimensionados para suprir sua demanda. Entretanto, pode haver períodos em que a demanda não está sendo totalmente utilizada e, com isso, dependendo do tipo de instalação do banco de capacitores, excede-se o limite de energia reativa capacitiva causando novas cobranças.

A concessionária disponibiliza o cálculo do fator de potência em conjunto com a equação de dimensionamento da potência do capacitor que deverá ser instalado para a correção. A Equação 6 apresenta a forma de cálculo para o fator de potência médio da instalação.

$$FP_{méd} = \frac{\sum Potências\ instaladas}{\left(\sum \frac{Potencia\ individual}{FP_individual}\right)} \quad (6)$$

Para os casos em que o FP for inferior a 0,92, deve-se estimar o valor de potência para o capacitor através da Equação 7, na qual k é um valor tabelado dependente do valor encontrado para o FP e disponível no GED 2856.

$$P_{capacitor} [kVAr] = D [kW] * k \quad (7)$$

Onde:

$P_{capacitor}$ = Potência do capacitor em kVAr;

D = Demanda da instalação em kW;

k = Constante tabelada no GED 2856.

2.2.1.4 Dimensionamento do transformador – RGE

O dimensionamento do transformador da subestação é determinado através da demanda calculada em kVA. Para UC's com ramo de atividade de transformação e prestação de serviço com FP inferior a 0,92, é necessário realizar a divisão do valor de demanda estimada em kW pelo fator de potência corrigido, sendo o valor mínimo de 0,92. A partir da demanda, são utilizados os dados da Figura 1, presentes do GED 2856, para determinar a potência do transformador.

Figura 1 – Dimensionamento do transformador RGE

| DEMANDA CALCULADA kVA | TRANSFORMADOR A SER UTILIZADO kVA |
|--------------------------|--|
| até 33 | 30 |
| 34 a 49 | 45 |
| 50 a 82 | 75 |
| 83 a 124 | 112,5 |
| 125 a 165 | 150 |
| 166 a 250 | 225 |
| 251 a 308 | 300 |
| Acima de 308 | à critério do cliente, pois a medição é na média tensão |

Fonte: GED 2856, 2023.

2.2.1.5 Medição e tipos de subestação – RGE

Os usuários de energia elétrica podem optar pela medição em baixa tensão e média tensão. Ressalta-se que a medição em baixa tensão é restrita aos clientes com potências instaladas até 300 kVA, sendo necessária a utilização de transformador adquirido através de fabricante cadastrado, os quais constam no GED 16.974, com potências de 30kVA, 45 kVA, 75 kVA, 112,5 kVA, 150 kVA, 225 kVA e 300kVA. Para clientes que optarem por medição em média tensão, não há restrições quanto ao fabricante, somente solicita-se que os transformadores estejam de acordo com as NBR's vigentes (NBR-5356-1, NBR-5356-2, NBR-5356-3, NBR-5356-4 e NBR-5356-5) e com as potências padronizadas de acordo com a ABNT, sendo isolados a líquido (a óleo mineral ou silicone ou ainda outro fluído similar, não sendo permitido o uso de askarel) ou a seco.

Em conformidade com os regulamentos estabelecidos pela RGE, os clientes têm a opção de escolher o tipo de subestação a ser utilizado com base na potência necessária do transformador. Subestações ao tempo podem ser em poste (aérea) ou em solo; as subestações aéreas, que são montadas em postes, podem ser utilizadas para transformadores com potência de até 300 kVA com medição realizada em baixa tensão.

Por outro lado, subestações instaladas em solo podem ser utilizadas para qualquer potência e sua medição pode ser realizada em baixa ou média tensão. Além disso, é previsto em regulamento a possibilidade de utilização de cubículos blindados, alocados dentro das subestações em solo com medição em média tensão.

As subestações abrigadas, em que os equipamentos ficam em compartimentos ou edificações tipo cabine, devem ser construídas em alvenaria ou concreto armado. São utilizadas para qualquer potência de transformador e com possibilidade de medição em baixa ou média tensão. Ainda, são aceitas cabines pré-fabricadas para esse tipo de subestação, desde que em conformidade com as exigências estabelecidas no GED 2855.

É previsto que, para cabines que forem parte integrante de outra edificação com porta de acesso para o lado interno da mesma e possuírem equipamentos com líquidos isolantes, faz-se necessária a adoção de medidas para proteção e prevenção contra incêndios emitida pelo corpo de bombeiros. Dessa forma, é possível a utilização de transformadores com isolamento a óleo e a seco.

2.2.2 Dimensionamento do ramal de entrada em MT – Equatorial

2.2.2.1 Cálculo da carga – Equatorial

Da mesma forma que o regulamento da RGE, é informado na NT 002 da Equatorial que se deve conhecer previamente a carga instalada, o regime de funcionamento, fator de potência e o ramo de atividade da instalação (prestação de serviço ou transformação). Além disso, é mostrado que o cálculo da carga instalada deve ser realizado por meio das potências fornecidas nas placas dos equipamentos ou através das potências nominais individuais.

2.2.2.2 Cálculo da demanda – Equatorial

A demanda é determinada através da Equação 8, na qual a demanda total é a soma das demandas individuais por tipo de carga e que depende dos valores de carga e dos fatores de potência e de demanda. Ressalta-se que o método exposto deve ser utilizado para os dois ramos de atividades previstos: prestação de serviços e transformação.

$$D(kVA) = D_a(kVA) + D_b(kVA) + D_c(kVA) + D_d(kVA) + D_e(kVA) \quad (8)$$

Onde:

D = Demanda total da instalação em kVA;

D_a = Demanda referente a iluminação e tomadas (kVA);

D_b = Demanda referente a equipamentos de utilização específica (kVA);

D_c = Demanda referente a condicionadores de ar (kVA);

D_d = Demanda referente a motores elétricos (kVA);

D_e = Demanda referente a equipamentos especiais (kVA).

É disponibilizado pelo regulamento NT 002, em seu anexo I, uma planilha de auxílio para o cálculo de carga e demanda da instalação para subestações abrigadas. Ao utilizá-la, é necessário inserir os tipos de cargas, quantidades, potências das cargas e os fatores de potência e de demanda.

Com a inclusão desses dados, é fornecido os valores de carga, de demanda, de potência do capacitor para correção do FP e de potência indicada para o transformador. No anexo II do mesmo regulamento, está previsto o dimensionamento de subestações aéreas, no qual são

solicitadas as mesmas informações descritas anteriormente e a planilha retorna o dimensionamento dos equipamentos para SE aérea.

Além disso, para o caso de edificações de múltiplas unidades consumidoras, o regulamento que deve ser utilizado é a NT 004. Nele é apresentado os modelos de cálculo de carga e de demanda através da área útil da edificação; essa diretriz informa que o valor de demanda é tabelado em função da área útil e deve ser multiplicado pelo fator diversificação disponibilizado no regulamento em função do número de apartamentos.

2.2.2.3 Correção do fator de potência – Equatorial

De forma análoga ao que ocorre no GED 2855, o fator de potência da instalação deve ser analisado para correção em caso do mesmo ser inferior a 0,92. O cálculo do FP, estabelecido pela NT 002, é igual ao apresentado na Equação 6. Quando há a necessidade de correção do FP, ou seja, o valor final é inferior a 0,92, utiliza-se a Equação 9 para o dimensionamento da potência do capacitor que deverá ser instalado.

$$P_{capacitor}[kVAr] = D_{instalada}[kW] * F \quad (9)$$

Onde:

$P_{capacitor}$ = Potência do capacitor em kVAr;

$D_{instalada}$ = Demanda da instalação em kW;

F = Constante tabelada na NT 002.

2.2.2.4 Dimensionamento do transformador – Equatorial

O dimensionamento do transformador é realizado através do valor calculado de demanda em kVA. Recomenda-se utilizar a tabela da Figura 2 disponibilizada pela NT 002.

Figura 2 – Dimensionamento do transformador Equatorial

| Demanda Calculada (kVA) | Transformador Recomendado (kVA) |
|-------------------------|---------------------------------|
| 60 a 82 | 75 |
| 83 a 124 | 112,5 |
| 125 a 165 | 150 |
| 166 a 248 | 225 |
| 249 a 330 | 300 |
| 331 a 550 | 500 |
| 551 a 825 | 750 |
| 826 a 1100 | 1000 |
| 1101 a 1375 | 1250 |
| 1376 a 1650 | 1500 |
| 1651 a 2200 | 2000 |
| 2201 a 2717 | 2500 |

Fonte: NT 0002, 2023.

2.2.2.5 Medição e tipos de subestação – Equatorial

A medição dos clientes da Equatorial é realizada de acordo com a potência de suas instalações. De forma geral, UCs com potências até 300 kVA serão medidas em baixa tensão e, para potências superiores a esse valor, a medição será realizada em média tensão. Os modelos de subestações dessa concessionária, previstos em regulamento, dependem da potência da instalação.

Subestações ao tempo podem ser em postes ou em solo. As SE em poste (aérea), são destinadas para transformadores com potência de até 300 kVA. Além desse modelo, é previsto a utilização de SE em pedestal (*Pad Mounted*) para as mesmas potências utilizadas nos modelos em poste e, em ambos os modelos, a medição será realizada em baixa tensão.

Ressalta-se que para SE do tipo pedestal, é vedada a utilização em instalações internas, sendo permitido somente o uso externo e para clientes de média tensão, não sendo aplicada para clientes com múltiplas unidades consumidoras. Além disso, a utilização do modelo pedestal é restrita a locais onde a tensão de fornecimento é de 13,8 kV, não sendo utilizada nas demais tensões. Em contrapartida, subestações ao tempo em solo, são destinadas aos clientes que utilizam transformadores com potência superior a 300 kVA, sendo a medição realizada em média tensão.

Subestações abrigadas em cabines ou cubículos de alvenaria são aplicadas preferencialmente para clientes com transformadores de potência superior a 300 kVA; é permitida a utilização de potências iguais ou inferiores a 300 kVA, entretanto, deve ser

solicitada a aprovação técnica por parte da concessionária. A cabine deve ser construída em alvenaria ou concreto armado e com utilização dos demais materiais sendo não inflamáveis. É prevista a instalação da SE como parte integrante da edificação. Nesses casos, os clientes ficam restritos a utilização de transformadores com isolamento a seco, não sendo permitida a utilização de óleo, ainda que sejam instaladas paredes de alvenaria e portas corta-fogo.

As subestações de cabine ou cubículo blindado poderão ser utilizadas em SE ao tempo em solo ou abrigadas. Dessa forma, são utilizadas para os casos em que a potência do transformador é superior a 300 kVA e sua medição é realizada em média tensão.

2.2.3 Projeto comparativo entre RGE e Equatorial para MT

Com o objetivo de comparar os regulamentos estabelecidos pelas concessionárias RGE e Equatorial na modalidade de média tensão, foi elaborado projeto elétrico para uma casa de máquinas contendo 4 bombas, sendo duas de 200 CV e as demais de 150 CV. Além da carga destinada aos motores que comandam as bombas, também foram previstas cargas para motores de 2 CV (utilização de talha), iluminação e tomadas de uso geral.

Todas as cargas previstas são descritas na Tabela 3. A partir desses valores, será realizado o dimensionamento da subestação necessária para o atendimento da carga utilizando os regulamentos GED 2855 e NT 002, referentes a RGE e Equatorial respectivamente.

Tabela 3 – Descrição do projeto de MT

| Descrição | Quantidade | Potência [CV] | Potência [W] | Potência instalada [W] |
|------------------------|------------|---------------|------------------|------------------------|
| Bomba | 2 | 200 CV | 147.102 | 294.204,00 |
| Bomba | 2 | 150 CV | 110.327 | 220.653,00 |
| Talha | 1 | 2 CV | 1.471 | 1.471,02 |
| Iluminação | 4 | - | 100 | 400,00 |
| Tomada Trifásica | 2 | 2 CV | 1.471 | 2.942,04 |
| Iluminação SE abrigada | 2 | - | 100 | 200,00 |
| Tomada SE abrigada | 2 | - | 600 | 1.200,00 |
| | | | Total [W] | 521.070 |

Fonte: O Autor, 2023.

3 RESULTADOS DOS ESTUDOS DE CASO

Nesta seção, são apresentados os dois estudos de caso realizados com o objetivo de comparar e aplicar os regulamentos vigentes das concessionárias RGE e Equatorial para execução de projetos elétricos em baixa e média tensão.

3.1 Projeto elétrico para Grupo BT

No projeto elétrico elaborado para acesso ao sistema de baixa tensão, aplicou-se os regulamentos regentes de ambas as concessionárias para comparação. Foram realizados os cálculos de carga e demanda utilizando as equações fornecidas pela RGE e Equatorial. A partir dos valores calculados, com auxílio das tabelas presentes nos regulamentos, foi realizado o dimensionamento do padrão de entrada.

3.1.1 Dimensionamento do padrão de entrada para RGE em BT

Primeiramente, foi realizado, conforme estabelecido no GED 13, o cálculo de previsão de carga em *Watts*. De acordo com esse regulamento, deve-se atribuir um ponto de iluminação com potência de 100 W por cômodo. A planta elaborada dentro do projeto possui um total de 10 cômodos, totalizando a potência de 1 kW destinado a iluminação.

Para os pontos de tomadas de uso geral, deve-se atribuir a potência de 100 W, individualmente por ponto, com exceção da cozinha na qual é atribuída a potência de 600 W para os três primeiros pontos de tomada. Dessa forma, o total de potência previsto para os TUG's é de 4 kW, superior ao valor mínimo estabelecido no GED 13 em função de m² construído que, para essa forma de dimensionamento, seria de 2,6 kW.

A potência atribuída para os pontos de tomada de uso específico foi obtida através de tabelas fornecidas no GED 13 que disponibilizam valores de potências padrões para alguns equipamentos; a partir dessas potências, foi realizado o cálculo de potência para as TUE's que resultou em 23,6 kW. Sendo assim, o valor total de carga em *Watts* do projeto é de 28,6 kW. A Tabela 4 apresenta o número de pontos de iluminação, TUG e TUE do projeto e a previsão de cargas atribuídos por cômodo.

Tabela 4 – Previsão de carga (W) a partir do GED 13 da RGE para BT

| Dependência | Ponto de Iluminação | | Pontos de Tomada – Uso Geral | | Pontos de tomada - Uso Específico | |
|---------------------------------------|---------------------|---------------|------------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| | Nºpontos | Pot.Total [W] | Nºpontos | Pot.Total [W] | Aparelho | Pot.Total [W] |
| Suíte | 1 | 100 | 4 | 400 | Ar condicionado | 900 |
| Quarto | 1 | 100 | 3 | 300 | Ar condicionado | 900 |
| Corredor | 1 | 100 | - | - | - | - |
| Banheiro 01 | 1 | 100 | 1 | 100 | Chuveiro | 6.500 |
| Banheiro 02 | 1 | 100 | 1 | 100 | Chuveiro | 6.500 |
| Escritório | 1 | 100 | 3 | 300 | Ar condicionado | 900 |
| Sala | 1 | 100 | 4 | 400 | Ar condicionado | 1.400 |
| Cozinha | 1 | 100 | 5 | 2.000 | Torneira Elétrica | 5.500 |
| Área de Serviço | 1 | 100 | 3 | 300 | Máquina de Lavar | 1.000 |
| Varanda | 1 | 100 | 1 | 100 | - | - |
| Total | 10 | 1.000 | 25 | 4.000 | - | 23.600 |
| Total de Previsão de Carga [W] | | | 28.600 | | | |

Fonte: O Autor, 2023.

O regulamento da RGE estabelece que, para os casos em que a previsão de carga for superior a 25 kW, deve-se realizar o cálculo de demanda com a utilização das Equações 1 e 2. Na realização do cálculo de demanda, é necessário definir os valores para fatores de demanda e de potência, fornecidos pelo GED 13, de acordo com o índice calculado.

O projeto é composto pelos índices a, b, d e f. Os valores de cargas utilizadas (em *Watts*) são apresentados na Tabela 4, com exceção dos valores atribuídos para ar condicionado, os quais o GED 13 fornece valores em volt ampere (VA) considerando o FD e FP igual 1. A Tabela 5 mostra os valores atribuídos para esse cálculo e o total de demanda calculado de 23,79 kVA.

Tabela 5 – Cálculo de demanda para RGE

| Índice de Demanda | Descrição | Carga Instalada [W] | Fator de Demanda | Fator de Potência | Demanda [VA] |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------|
| a | Iluminação e Tomadas | 5.000 | 0,52 | 1 | 2.600 |
| b | Chuveiros e torneiras | 18.500 | 0,84 | 1 | 15.540 |
| c | Aquecedor central | - | - | - | - |
| d | Máquinas de Lavar | 1.000 | 0,70 | 1 | 700 |
| e | Fogão elétrico | - | - | - | - |
| f | Condicionador de Ar | 4.950 | 1,00 | 1 | 4.950 |
| g | Motores | - | - | - | - |
| h | Equipamentos carga \geq 1kW | - | - | - | - |
| i | Hidromassagem | - | - | - | - |
| Demanda Total [VA] | | | | | 23.790 |

Fonte: O Autor, 2023.

As tabelas para o dimensionamento do padrão de entrada através da carga e demanda instalada são fornecidas em seu regulamento vigente pela RGE. As Figuras 3 e 4 apresentam as

tabelas 1A e 1B, respectivamente, disponíveis no GED 13. A Figura 3 apresenta o dimensionamento das regiões em que o nível de tensão disponibilizado é 127/220V, já a Figura 4, é referente as regiões com nível de tensão de 220/380V.

Figura 3 – Dimensionamento do padrão de entrada RGE (127/220V)

| Dimensionamento em Tensão 127/220V – Ramal de Entrada Cobre PVC | | | | | | | | | | | |
|---|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|
| Fases | Monofásico | | Bifásico | | Trifásico | | | | | | |
| Categoria | A1 ⁽¹⁾ | A2 ⁽¹⁾ | B1 | B2 | C1 | C2 | C3 | C4 ⁽⁵⁾ | C5 ⁽⁵⁾ | C6 ⁽⁵⁾ | |
| Carga Instalada (kW) | C ≤ 6 | 6 < C ≤ 12 | 12 < C ≤ 18 | 18 < C ≤ 25 | 25 < C ≤ 75 | | | | | | |
| Demanda Total (kVA) | - | - | - | - | D ≤ 23 | 23 < D ≤ 30 | 30 < D ≤ 38 | 38 < D ≤ 47 | 47 < D ≤ 57 | 57 < D ≤ 76 | |
| Limitação motores (cv) | FN ⁽¹⁾ | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 5 | 7,5 | 7,5 | |
| | FF | - | - | 3 | 5 | 3 | 5 | 7,5 | 7,5 | 10 | |
| | FFFN ⁽³⁾ | - | - | - | - | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | |
| Ramal de Entrada Cabo Cu PVC mm ² BWF 70°C 750 V | 6 | 16 | 16 | 25 | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 ⁽⁴⁾ | 95 ⁽⁴⁾ | |
| Disjuntor (A) | 32 | 63 | 63 | 80 | 63 | 80 | 100 | 125 | 150 | 200 | |
| Eletroduto (mm) | 32 | | 40 | | | | 50 | | 60 | | |
| Aterramento | Condutor nu (mm ²) | 6 | 10 | | | | | 16 | 25 | 35 | |
| | Eletroduto (mm) | 20 | | | | | | | | | |
| Poste Padrão com caixa incorporada | Poste padrão para medição direta | | | | Poste padrão para medição direta | | | Poste padrão para medição indireta | | | |
| Caixa de medição + Postinho | Policarbonato ou tipo II ⁽²⁾ | | | | Policarbonato ou tipo III | | | Tipo H | | | |
| Resistência mecânica poste DT ou FV | 90 daN | | | | | | 200 daN | | 300 daN | | |
| Poste Tubular de Aço (mm) | Circular 101,6 x 5,0 (diâmetro ext. x esp.) ou Quadrado 80 x 80 x 3 mm | | | | | | | | - | | |
| Pontaleta Tubular de Aço (mm) | 60,33 x 3,35 ou 80 x 80 x 3 (diâmetro externo x espessura) | | | | | - | | | | | |
| Ramal de conexão (mínimo) | 10 mm ² Duplex | 16 mm ² Triplex | 16 mm ² Triplex | 25 mm ² Triplex | 10 mm ² Quadru-plex | 16 mm ² Quadru-plex | 25 mm ² Quadru-plex | 35 mm ² Quadru-plex | 50 mm ² Quadru-plex | 70 mm ² Quadru-plex | |

Fonte: GED 13, 2023.

Figura 4 – Dimensionamento do padrão de entrada RGE (220/280V)

| Dimensionamento em Tensão 220/380V – Ramal de Entrada Cobre PVC | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|---|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Fases | | Monofásico | | Bifásico | Trifásico | | | | |
| Categoria | | A3 | A4 | B3 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 |
| Carga Instalada (kW) | | C ≤ 10 | 10 < C ≤ 15 | 15 < C ≤ 25 | 25 < C ≤ 75 | | | | |
| Demanda Total (kVA) | | - | - | - | D ≤ 26 | 26 < D ≤ 40 | 40 < D ≤ 46 | 46 < D ≤ 66 | 66 < D ≤ 82 |
| Limitação motores (cv) | FN | 3 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 7,5 | 7,5 |
| | FF | - | - | 10 | 5 | 5 | 10 | 12 | 12 |
| | FFFN ⁽²⁾ | - | - | - | 20 | 30 | 30 | 40 | 50 |
| Ramal de Entrada Cabo Cu PVC mm ² BWF 70°C 750 V | | 6 | 16 | 16 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 |
| Disjuntor (A) | | 32 | 63 | 63 | 40 | 63 | 80 | 100 | 125 |
| Eletroduto (mm) | | 32 | | 40 | | | | 50 | |
| Aterramento | Condutor mm ² | 6 | 10 | | | | 16 | | |
| | Eletroduto (mm) | 20 | | | | | | | |
| Poste Padrão com Caixa Incorporada | | Poste padrão para medição direta | | | Poste padrão para medição direta | | | Poste padrão medição indireta | |
| Caixa de medição + Postinho | | Policarbonato ou tipo II ⁽¹⁾ | | | Policarbonato ou tipo III | | | Tipo H | |
| Resistência mecânica poste DT ou FV | | 90 daN | | | | | 200 daN | | |
| Poste Tubular de Aço (mm) | | Circular 101,6 x 5,0 (diâmetro ext. x esp.) ou Quadrado 80 x 80 x 3 | | | | | - | | |
| Pontaleta Tubular de Aço (mm) | | 60,33 x 3,35 ou 80 x 80 x 3 (diâmetro externo x espessura) | | | - | | | | |
| Ramal de conexão (mínimo) | | 10 mm ² Duplex | 16 mm ² Duplex | 16 mm ² Triplex | 10 mm ² Quadru-plex | 16 mm ² Quadru-plex | 25 mm ² Quadru-plex | 35 mm ² Quadru-plex | 35 mm ² Quadru-plex |

Fonte: GED 13, 2023.

As Figuras 3 e 4 informam o dimensionamento para ramais de entrada com condutores de cobre e isolamento em PVC, entretanto, são disponibilizadas outras tabelas de dimensionamento com condutores de cobre EPR/XLPE e alumínio multiplexado. Com a finalidade de comparação, serão analisados os casos com utilização de condutores isolados em PVC.

Utilizando os valores calculados de carga e demanda, através das tabelas 1A e 1B, são obtidos os requisitos mínimos do padrão de entrada. No caso em que a tensão disponível é de 127/220V, de acordo com a tabela 1A, o projeto se enquadra na categoria C2 para a tensão de 220/380V e a categoria é a C7, em ambos os casos o tipo de fornecimento é trifásico.

Os parâmetros principais para o dimensionamento do ramal de entrada são o condutor do ramal de entrada, disjuntor, eletroduto, aterramento, poste e caixa de medição. A Tabela 6 exibe um resumo dos parâmetros para os dois tipos de fornecimento.

Tabela 6 – Parâmetros para o dimensionamento do padrão de entrada RGE

| Parâmetro | Fornecimento em 127/220V | Fornecimento em 220/380V |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Categoria | C2 | C7 |
| Condutor Ramal de entrada, cobre (mm ²) | 25 | 10 |
| Disjuntor (A) | 80 | 40 |
| Eletroduto entrada (mm) | 40 | 40 |
| Condutor de aterramento (mm ²) | 10 | 10 |
| Eletroduto de aterramento (mm) | 20 | 20 |

Fonte: O Autor, 2023.

Além dos pontos destacados, a RGE informa que o sistema de aterramento deve ser realizado por meio da utilização de poste com caixa incorporada e com haste de aterramento acoplada. Para os casos de postes sem o acoplamento, deve-se utilizar de haste de aço cobreada (no mínimo 15 mm de diâmetro) ou cantoneira de aço zincado com no mínimo 2,4 m de comprimento, não estando a mais de 700 mm da base do poste.

A RGE, em seu GED 19322, descreve os modelos de postes e caixas de medição homologados e que podem ser utilizados nos padrões de entrada. Entre eles, estão os postes do tipo padrão com caixa incorporada, concreto armado em duplo T ou circular, fibra de vidro e aço tubular. As caixas de medição são as de policarbonato (tamanho único) e as metálicas que variam de acordo com o tipo.

Todos os postes devem ter no mínimo 7,5 m de comprimento, sendo 1,35 m de engastamento e 6,15 m de altura livre. Para o projeto elaborado, o GED 13 possibilita a utilização dos postes descritos na Tabela 7, sendo que o uso do modelo de poste padrão com caixa incorporada dispensa a utilização de caixa de medição.

Tabela 7 – Dimensionamento de poste e caixa de medição RGE

| Modelo de poste/caixa | Fornecimento em 127/220V | Fornecimento em 220/380V |
|--|------------------------------------|------------------------------------|
| Poste padrão (concreto armado) com caixa incorporada | Padrão com medição direta | Padrão com medição direta |
| Postes de concreto armado | Duplo T e circular | Duplo T e circular |
| Poste de fibra de vidro | Quadrado e retangular | Quadrado e retangular |
| Poste tubular de aço galvanizado | Circular e quadrado | Circular e quadrado |
| Caixa de medição | Policarbonato ou metálica tipo III | Policarbonato ou metálica tipo III |

Fonte: O Autor, 2023.

3.1.2 Dimensionamento do padrão de entrada para Equatorial em BT

O dimensionamento do padrão de entrada para consumidores da Equatorial é estabelecido através de tabelas bases que necessitam somente a previsão de carga em *Watts*. Contudo, não é informado um método de cálculo para a carga em seu regulamento NT 001, apenas é informado que os projetos devem seguir as diretrizes estabelecidas na NBR 5410:2008.

Dessa forma, fez-se uso da NBR 5410:2008 para o cálculo de previsão de carga dos pontos de iluminação e pontos de tomadas de uso geral. No caso dos pontos de tomadas de uso específico, foram adotados os valores de potência fornecidos pela NT 0001 para os equipamentos. A Tabela 8 apresenta os valores atribuídos para cada dependência e o valor 30,54 kW que é o total de carga calculado.

Tabela 8 – Previsão de carga (W) a partir da NT 0001 Equatorial em BT

| Dependência | Ponto de Iluminação | | Pontos de Tomada – Uso Geral | | Pontos de tomada - Uso Específico | |
|---------------------------------------|---------------------|---------------|------------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| | Nºpontos | Pot.Total [W] | Nºpontos | Pot.Total [W] | Aparelho | Pot.Total [W] |
| Suíte | 2 | 160 | 4 | 400 | Ar condicionado | 900 |
| Quarto | 1 | 100 | 3 | 300 | Ar condicionado | 900 |
| Corredor | 1 | 100 | - | - | - | - |
| Banheiro 01 | 2 | 160 | 1 | 600 | Chuveiro | 7.500 |
| Banheiro 02 | 2 | 160 | 1 | 600 | Chuveiro | 7.500 |
| Escritório | 1 | 100 | 3 | 300 | Ar condicionado | 900 |
| Sala | 2 | 280 | 4 | 400 | Ar condicionado | 1.400 |
| Cozinha | 1 | 100 | 5 | 2.000 | Torneira Elétrica | 2.000 |
| Área de Serviço | 1 | 100 | 3 | 1.800 | Máquina de Lavar | 1.000 |
| Varanda | 3 | 180 | 1 | 600 | - | - |
| Total | 16 | 1.440 | 25 | 7.000 | - | 22.100 |
| Total de Previsão de Carga [W] | | | 30.540 | | | |

Fonte: O Autor, 2023.

Foi realizado o cálculo de demanda através da Equação 3 para o projeto elaborado. A NT 001 da Equatorial fornece, de forma tabelada, os valores para os fatores de demanda e de

potência, com exceção do fator de potência para condicionadores de ar. As cargas, em *Watts*, utilizadas são apresentadas na Tabela 8. A partir desses valores, é realizado o cálculo de demanda, totalizando o valor de 27,71 kVA para o projeto. Na Tabela 9, é apresentado o resumo do cálculo realizado.

Tabela 9 – Cálculo de demanda para Equatorial

| Índice de Demanda | Descrição | Carga Instalada [W] | Fator de Demanda | Fator de Potência | Demanda [VA] |
|---------------------------|-------------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------|
| A | Iluminação e Tomadas | 8.440 | 1 | 0,7 | 12.057 |
| B | Chuveiros | 15.000 | 0,65 | 1 | 9.750 |
| | Torneiras | 2.000 | 0,80 | 1 | 1.600 |
| C | Aparelhos eletrodomésticos em geral | 1.000 | 0,8 | 0,85 | 941 |
| D | Condicionador de Ar | 4.100 | 0,82 | 1 | 3.362 |
| E | Motores das bombas d'água | - | - | - | - |
| F | Outros motores e máquinas de solda | - | - | - | - |
| G | Máquinas de solda a transformador | - | - | - | - |
| H | Aparelhos de Raios-X | - | - | - | - |
| I | Outras cargas não relacionadas | - | - | - | - |
| Demanda Total [VA] | | | | | 27.710 |

Fonte: O Autor, 2023.

O dimensionamento do padrão de entrada é realizado através de tabelas fornecidas pela Equatorial que estabelecem as condições mínimas do padrão de entrada de acordo com a carga instalada. As Figura 5 e 6 apresentam as tabelas de dimensionamento, presentes na NT 001, sendo a Figura 5 para instalações com tensão fornecida de 127/220V e a Figura 6, com tensão fornecida de 220/380V.

Figura 5 – Dimensionamento do padrão de entrada Equatorial (127/220V)

| MÉTODO DE CÁLCULO | TIPOS DE FORNECIMENTO | CARGA A KW | DISJUNTOR TERMO-MAGNÉTICO (A) | RAMAL DE LIGAÇÃO | | | | | DIÂMETRO NOMINAL Ø ELETRODUTO DE AÇO | CONDUTOR COBRE ISOLADO MÍNIMO DO CLIENTE FASE (NEUTRO) (mm²) | CONDUTOR DE ATERRAMENTO (AÇO) | DIÂMETRO NOMINAL Ø ELETRODUTO ATERRAMENTO (poil) |
|-------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|---|------------------------------------|---|-----------------|------------|---|---|-------------------------------|---|
| | | | | Distância até 2 km da orla marítima | | Distância a partir de 2 km da orla marítima | | | | | | |
| | | | | CABO DE COBRE CONCENTRICO OU DUPLEX (mm²) | CABO DE COBRE MULTIPLEXADO(mm²) | CABO DE ALUMÍNIO MULTIPLEXADO (mm²) | | | | | | |
| | | | | | | DUPLEX/ CONCENTRI TRIPLEX | QUA- DRUPLEX | | | | | |
| CARGA INSTALADA | MONOFÁSICO | Até 4 | 30 ou 32 (MON O) | - | - | 10 | - | - | 3/4 | 6(6) | 6 | 1/2 |
| | | 4,1 até 8 | 60 ou 63 (MON O) | - | - | 10 | - | - | 3/4 | 10(1 0) | 10 | 1/2 |
| | | 8,1 até 10 | 70 (MON O) | - | - | 16 | - | - | 3/4 | 10(1 0) | 10 | 1/2 |
| | BIFÁSICO | 10,1 até 13 | 60 ou 63 (BI) | - | - | - | 16 | - | 1 | 10(1 0) | 10 | 1/2 |
| | | 13,1 até 15 | 70 (BI) | - | - | - | 16 | - | 1 | 10(1 0) | 10 | 1/2 |
| CARGA INSTALADA | TRIFÁSICO | 15,1 ate 27 | 70 (TRI) | - | - | - | - | 25 | 2 | 16(1 6) | 16 | 1 |
| | | 27,1 ate 38 | 100 (TRI) | - | - | - | - | 35 | 2 | 25(2 5) | 25 | 1 |
| | | 38,1 ate 47 | 125 (TRI) | - | - | - | - | 50 | 2.1/2 | 35(2 5) | 25 | 1 |
| | | 47,1 ate 57 | 150 (TRI) | - | - | - | - | 70 | 3 | 50(2 5) | 25 | 1 |
| | | 57,1 ate 66 | 175 (TRI) | - | - | - | - | 95 | 3 | 70(3 5) | 35 | 1 |
| 66,1 ate 75 | 200 (TRI) | - | - | - | - | 95 | 3 | 70(3 5) | 35 | 1 | | |

Fonte: NT 001, 2023.

Figura 6 – Dimensionamento do padrão de entrada Equatorial (220/380V)

| METODO DE CÁLCULO | TIPOS DE FORNECIMENTO | CARGA A kW | DISJUNTOR TERMO-MAGNÉTICO (A) | RAMAL DE LIGAÇÃO | | | | | DIÂMETRO NOMINAL Ø ELETRODUTO DE AÇO GALVANIZADO (pol.) | CONDUTOR COBRE ISOLADO MÍNIMO DO CLIENTE (ASE/NEUTRO) (mm ²) | CONDUTOR DE ATERRAMENTO (AÇO CABEADOL) (mm ²) | DIÂMETRO NOMINAL Ø ELETRODUTO A TERRAMENTO (pol.) |
|-------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|--|--|--|--|----------------|--|---|--|--|
| | | | | Distância até 2 km da orla marítima | | Distância a partir de 2 km da orla marítima | | | | | | |
| | | | | CABO DE COBRE CONCENTRICO OU DUPLEX (mm ²) | CABO DE COBRE MULTIPLEXADO (mm ²) | ELETRODUTO DE PVC COM PROTEÇÃO ANTIVIV | CABO DE ALUMÍNIO MULTIPLEXADO (mm ²) | | | | | |
| | | | | | | | DUPLEX/ CONCENTRI | QUADRUPL EX | | | | |
| CARGA INSTALADA | MONOFÁSICO | Até 4 | 25 (MONO) | 4 | - | | 10 | - | 3/4 | 4 | 4 | 1/2 |
| | | De 4 a 8 | 40 (MONO) | 6 | - | | 10 | - | 3/4 | 6 | 6 | 1/2 |
| | | De 8 a 12 | 60 ou 63 (MONO) | 10 | - | | 10 | - | 3/4 | 10 | 6 | 1/2 |
| CARGA INSTALADA | TRIFÁSICO | De 12 a 20 | 40 (TRI) | - | 6 | | - | 10 | 1.1/2 | 6 | 6 | 1/2 |
| | | De 20 a 30 | 60 ou 63 (TRI) | - | 10 | | - | 16 | 1.1/2 | 10 | 10 | 1 |
| | | De 30 a 40 | 80 (TRI) | - | 16 | | - | 25 | 2 | 16 | 16 | 1 |
| | | De 41 a 50 | 100 (TRI) | - | 25 | | - | 35 | 2 | 25 | 25 | 1 |
| | | De 50 a 75 | 125 (TRI) | - | 35 | | - | 50 | 2.1/2 | 35 | 35 | 1 |

Fonte: NT 001, 2023.

Com base nos dados fornecidos nas Figuras 5 e 6, podemos dimensionar os principais parâmetros do padrão de entrada. A partir da carga calculada, é possível determinar os parâmetros para o condutor do ramal de entrada, disjuntor, eletroduto e aterramento. A Tabela 10 apresenta o resumo com os parâmetros para o fornecimento de energia, em 127/220V e 220/380V, na qual, para ambos os casos o tipo de fornecimento, é enquadrado como trifásico.

Tabela 10 – Parâmetros para o dimensionamento do padrão de entrada Equatorial

| Parâmetro | Fornecimento em 127/220V | Fornecimento em 220/380V |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Condutor Ramal de entrada, cobre (mm ²) | 25 (Fase) e 25 (Neutro) | 16 |
| Disjuntor (A) | 100 | 80 |
| Eletroduto entrada Aço Galvanizado (pol) | 2 (50,8 mm) | 2 (50,8 mm) |
| Condutor de aterramento (mm ²) | 25 | 16 |
| Eletroduto de aterramento (pol) | 1 (25,4 mm) | 1 (25,4 mm) |

Fonte: O Autor, 2023.

Os condutores dimensionados pela NT 001 são de cobre com isolamento em PVC e os eletrodutos em aço galvanizado. Além disso, é estabelecido que os padrões de entrada deverão ser através de postes que estiverem de acordo com a NT 045 ou das demais formas previstas na NT 001, entre elas acesso sem poste com caixas de medição acoplados em muros ou paredes. Ainda, a Equatorial informa que o sistema de aterramento deve ser realizado por meio da utilização de haste de aço cobreada com no mínimo 16 mm de diâmetro e 1,5 m de comprimento.

Na NT 045 da Equatorial, são descritos os modelos de postes homologados pela distribuidora. Entre eles estão os modelos em aço, fibra de vidro (com ou sem medição acoplada) e concreto armado (com ou sem medição acoplada). No dimensionamento do padrão de entrada, o modelo de poste é estabelecido por meio do tipo de fornecimento de energia. Nesse caso, é trifásico que possibilita a utilização dos postes de concreto armado com seção quadrada, duplo T ou com caixa acoplada, contendo ainda a restrição da altura da base do poste até o ponto de conexão.

Para locais onde o ramal de conexão e o ponto de conexão ficam no mesmo lado da via pública, a altura mínima é de 3,5 m; para os casos em que o ramal de conexão atravessa a via pública havendo passagem de veículos, a altura mínima estabelecida é de 5,5 m. De forma geral, os postes são padronizados em tamanhos de 5 m e 7 m, com engastamento de 1,1 m e 1,3 m respectivamente.

Nos casos em que a medição não é acoplada ao poste, é necessária a instalação da caixa de medição. A NT 001 estabelece os modelos de caixas que são homologados e que podem ser utilizados pelos seus clientes; entre eles estão as poliméricas com modelos monofásicos ou polifásicos e as metálicas com modelos monofásicos e polifásicos. Na Tabela 11, é informado o resumo dos postes que podem ser utilizados para o projeto.

Tabela 11 – Dimensionamento de poste e caixa de medição Equatorial

| Modelo de poste/caixa | Fornecimento em 127/220V | Fornecimento em 220/380V |
|------------------------------|--|--|
| Postes de concreto armado | Seção quadrada, Duplo T, com caixa acoplada (5m ou 7m) | Seção quadrada, Duplo T, com caixa acoplada (5m ou 7m) |
| Acoplado em muros ou paredes | Consultar NT 001 | Consultar NT 001 |
| Caixa de medição | Polimérica ou metálica polifásicas | Polimérica ou metálica polifásicas |

Fonte: O Autor, 2023.

3.2 Projeto elétrico para Grupo MT

No projeto elétrico elaborado para acesso ao sistema de média tensão, aplicaram-se os regulamentos regentes de ambas as concessionárias para comparação. Foram realizados os cálculos de carga e demanda utilizando as equações fornecidas pela RGE e Equatorial. A partir dos valores calculados, com auxílio das tabelas presentes nos regulamentos, foi executado o dimensionamento da subestação necessária para atendimento da carga.

3.2.1 Dimensionamento do padrão de entrada para RGE em MT

O dimensionamento do padrão de entrada em MT, para clientes da RGE, deve ser realizado a partir dos regramentos estabelecidos no GED 2855. Dessa forma, deve-se realizar o cálculo de carga e de demanda. A partir dessas informações, pode-se determinar a potência do transformador que será utilizado na SE para o atendimento da carga do projeto elétrico.

Para determinação da carga do projeto, foram utilizadas as tabelas presentes no GED 2856. Por meio das informações disponibilizadas, foi possível realizar o cálculo da carga total do projeto apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Determinação da carga do projeto RGE

| Descrição | Quantidade | Carga unitária [W] | Carga Instalada [W] |
|-------------------------|------------|--------------------|---------------------|
| Bomba [200 CV] | 2 | 161.650,00 | 323.300,00 |
| Bomba [150 CV] | 2 | 120.090,00 | 240.180,00 |
| Talha [2 CV] | 1 | 1.950,00 | 1.950,00 |
| Iluminação | 4 | 100,00 | 400,00 |
| Tomada Trifásica [2 CV] | 2 | 1.950,00 | 3.900,00 |
| Iluminação SE | 2 | 100,00 | 200,00 |
| Tomada SE | 2 | 600,00 | 1.200,00 |
| TOTAL | | | 571.130,00 |

Fonte: O Autor, 2023.

Conforme estabelecido em regulamento, o cálculo de demanda deve ser realizado de acordo com o ramo de atividade da instalação que, para esse caso, é o de transformação. Dessa maneira, o cálculo de demanda será realizado através da Equação 5, incumbindo ao projetista determinar o valor do fator de demanda. Para tanto, será utilizado o FD de 0,643, obtido através da média ponderada dos fatores de demanda individuais, fornecidos pelo regulamento da RGE, das cargas da instalação. O valor de demanda calculado em *Watts* é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 – Demanda do projeto RGE

| Carga Instalada [W] | FD | Demanda [W] |
|---------------------|-------|-------------|
| 571.130,00 | 0,643 | 367.290,00 |

Fonte: O Autor, 2023.

Antes da determinação da potência do transformador, deve-se analisar o fator de potência da instalação. Para tanto, utiliza-se a Equação 6. A Tabela 14 apresenta os valores de carga instalada em *Watts* e *Volt Ampere* individualmente por grupo de carga.

Tabela 14 – Determinação da carga do projeto RGE

| Descrição | Carga Instalada [W] | FP | Carga Inst. / FP [VA] |
|-------------------------|---------------------|------|-----------------------|
| Bomba 200 CV | 323.300,00 | 0,85 | 380.352,94 |
| Bomba 150 CV | 240.180,00 | 0,85 | 282.564,71 |
| Talha 2 CV | 1.950,00 | 0,72 | 2.708,33 |
| Iluminação | 400,00 | 0,50 | 800,00 |
| Tomada Trifásica (2 CV) | 3.900,00 | 0,72 | 5.416,67 |
| Iluminação SE | 200,00 | 0,50 | 400,00 |
| Tomada SE | 1.200,00 | 1,00 | 1.200,00 |
| TOTAL | 571.130,00 | | 673.442,65 |

Fonte: O Autor, 2023.

Como resultado da utilização da Equação 6, temos o valor apresentado na Tabela 15 para o FP da instalação.

Tabela 15 – Fator de potência da instalação RGE

| Carga Instalada [W] | Carga Inst. / FP [VA] | FP médio |
|---------------------|-----------------------|----------|
| 571.130,00 | 673.442,65 | 0,85 |

Fonte: O Autor, 2023.

Conforme apresentado, o FP calculado é inferior ao mínimo estabelecido de 0,92. Sendo assim, será necessária a instalação de capacitores para correção do fator de potência. O dimensionamento da potência do capacitor é realizado utilizando a Equação 7, sendo apresentada na Tabela 16.

Tabela 16 – Dimensionamento do capacitor para correção do FP RGE

| Demanda [W] | K | P Capacitor [VAr] |
|-------------|-------|-------------------|
| 367.290,00 | 0,194 | 71.254,26 |

Fonte: O Autor, 2023.

A partir da correção do fator de potência, é determinada a potência do transformador para atendimento da carga da instalação. A potência do transformador é tabelada e depende da demanda calculada em *Volt Ampere*. Assim, deve-se realizar a divisão da demanda em *Watts* pelo fator de potência corrigido no valor de 0,92. A partir desses resultados, temos o valor apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 – Dimensionamento de demanda da RGE

| Demanda [W] | FP | Demanda [VA] |
|-------------|------|--------------|
| 367.290,00 | 0,92 | 399.228,26 |

Fonte: O Autor, 2023.

O valor de demanda é de 399,2 kVA, dessa forma, a potência do transformador indicado para atendimento da carga é de 500 kVA. A partir disso, é possível, em conjunto do GED 2855 e seus anexos, estabelecer os parâmetros mínimos para a subestação que deverá ser utilizada para esse projeto.

Para transformadores de 500 kVA, é estabelecido que deve ser utilizada o modelo de subestação abrigada, em alvenaria ou concreto armado. Além disso, com a potência do transformador e o modelo de subestação definidos, é possível dimensionar os elementos de proteção e demais itens que compõem o padrão de entrada, incluindo o sistema de aterramento em que a resistência máxima é de 10 ohms com terreno úmido e de 25 ohms com terreno seco, conforme estabelecido pelo regulamento da RGE. Na Tabela 18, é apresentado alguns dos itens dimensionados que fazem parte da subestação projetada, disponível no Apêndice C.

Tabela 18 – Dimensionamento dos elementos que compõe a SE RGE

| Descrição | Utilizado |
|--|--|
| Cabo do Ramal de Entrada | Cabo coberto, 70 mm ² [1/0 AWG CA]. |
| Barramento para classe de tensão primária | Barramento de cobre em vergalhão, Ø 5,16 mm, espaçamento de 32 cm. |
| Cabos de baixa tensão | Cabos de cobre unipolares, 3x300 mm ² p/fase + 1X300 mm ² , neutro, 0,6/1,0KV EPR ou XLPE. |
| Cabo para malha de Aterramento | Cabo de cobre nu, 50 mm ² . |
| Tela de proteção dos cubículos | Tela de proteção, arame de aço 12 BWG, malha máximo 20x20mm. |
| Haste para sistema de aterramento | Sistema de aterramento c/ hastes de aço revestido a cobre, 2,40m x 5/8 pol (16 mm), afastamento mínimo de 3m. |
| Cabo para Anel de aterramento no piso junto a parede | Anel de aterramento com cabo de cobre nu, 35 mm ² |

Fonte: O Autor, 2023.

3.2.2 Dimensionamento do padrão de entrada para Equatorial em MT

Os clientes da Equatorial, para obter acesso ao sistema de distribuição em MT, devem seguir os requisitos estabelecidos na NT 002. Para o dimensionamento do padrão de entrada, é preciso realizar os cálculos de carga e de demanda do projeto por meio das tabelas e equações fornecidas.

Inicia-se o processo de cálculos pela determinação da carga; para o projeto em questão, são disponibilizadas tabelas com previsão de carga em função das potências dos motores utilizados. Além disso, são fornecidos valores tabelados para os fatores de potência e de demanda. De posse dessas informações, é possível, realizar os cálculos individuais de carga instalada em *Volt Ampere* e de demanda em *Watt* e *Volt Ampere*.

Com os valores individuais calculados, aplica-se a Equação 8 para determinação da demanda total do projeto. A Tabela 19 apresenta os valores calculados, individualmente e totais, das cargas e das demandas do projeto. Ressalta-se que a Equatorial disponibiliza, como anexo da NT 002, planilhas de cálculos de realização automática, ou seja, é necessário preencher os valores de carga, quantidade e os fatores de potência e de demanda que podem ser estimados através das tabelas disponibilizadas nesse mesmo regulamento.

Tabela 19 – Cálculos de carga instalada e demanda do projeto Equatorial

| Descrição | Qtd. | Carga unitária [W] | Carga Instalada [W] | FP | Carga Inst./FP [VA] | FD | Demanda [W] | Demanda [VA] |
|-------------------------|------|--------------------|---------------------|------|---------------------|------|-------------------|-------------------|
| Bomba 200 CV | 1 | 161.650,00 | 161.650,00 | 0,85 | 190.176,47 | 1,00 | 161.650,00 | 190.176,47 |
| Bomba 200 CV | 1 | 161.650,00 | 161.650,00 | 0,85 | 190.176,47 | 0,70 | 113.155,00 | 133.123,53 |
| Bomba 150 CV | 1 | 120.090,00 | 120.090,00 | 0,85 | 141.282,35 | 0,70 | 84.063,00 | 98.897,65 |
| Bomba 150 CV | 1 | 120.090,00 | 120.090,00 | 0,85 | 141.282,35 | 0,70 | 84.063,00 | 98.897,65 |
| Talha 2 CV | 1 | 1.950,00 | 1.950,00 | 0,72 | 2.708,33 | 0,70 | 1.365,00 | 1.895,83 |
| Iluminação | 4 | 100,00 | 400,00 | 0,92 | 434,78 | 0,70 | 280,00 | 304,35 |
| Tomada Trifásica (2 CV) | 2 | 1.950,00 | 3.900,00 | 0,72 | 5.416,67 | 0,70 | 2.730,00 | 3.791,67 |
| Iluminação SE | 2 | 100,00 | 200,00 | 0,92 | 217,39 | 0,70 | 140,00 | 152,17 |
| Tomada SE | 2 | 600,00 | 1.200,00 | 1,00 | 1.200,00 | 0,70 | 840,00 | 840,00 |
| | | TOTAL | 571.130,00 | | 672.894,82 | | 448.286,00 | 528.079,32 |

Fonte: O Autor, 2023.

Após essa etapa, é necessário analisar o fator de potência da instalação. Para tanto, deve-se utilizar a Equação 6 na qual é realizada a divisão da carga instalada em *Watt* pela carga instalada em *Volt Ampere*. Na tabela 20, é informado o valor do fator de potência calculado para o projeto.

Tabela 20 – Fator de potência da instalação Equatorial

| Carga Instalada [W] | Carga Inst./FP [VA] | FP médio |
|---------------------|---------------------|----------|
| 571.130,00 | 672.894,82 | 0,85 |

Fonte: O Autor, 2023.

O valor obtido para o FP é inferior aos 0,92 (fator mínimo). Dessa forma, deve-se incluir no projeto um capacitor que faça a correção do fator de potência. O dimensionamento do capacitor é realizado por meio da Equação 9 e o valor de potência do capacitor necessário para correção é apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 – Dimensionamento do capacitor para correção do FP Equatorial

| Demanda [W] | K | P Capacitor [VAr] |
|-------------|-------|-------------------|
| 448.286,00 | 0,194 | 86.967,48 |

Fonte: O Autor, 2023.

Depois de efetuar a correção, é possível dimensionar a potência do transformador realizando a divisão da demanda em *Watts* pelo fator de potência da instalação que é de 0,92. Dessa forma, obtém-se a demanda em *Volt Ampere*. A Tabela 22 apresenta o valor calculado para demanda do projeto.

Tabela 22 – Dimensionamento de demanda da Equatorial

| Demanda [W] | FP | Demanda [VA] |
|-------------|------|--------------|
| 448.286,00 | 0,92 | 487.267,39 |

Fonte: O Autor, 2023.

A partir da demanda calculada em VA, pode-se determinar a potência do transformador que, para o projeto em análise, é o de 500 kVA. Dessa forma, conforme estabelecido na NT 002, para consumidores que utilizem transformadores com potências superiores a 300 kVA, o padrão de entrada deve ser no modelo de subestação abrigada em alvenaria ou concreto armado.

A partir disso, foi projetado o modelo de subestação (Apêndice D) conforme estabelecido na NT 002. Nele, foram incluídos os demais elementos presentes em uma subestação, parametrizados a partir da potência do transformador e modelos de SE. Além disso, o regulamento da Equatorial estabelece como deve ser realizada a proteção da subestação. O sistema de aterramento deve ter a resistência de no máximo 10 ohms, entretanto, casos em que a resistência estiver entre 10 ohms a 50 ohms, o local poderá ser energizado com a condição de

futuras readequações da resistência. Foram incluídos na Tabela 23 alguns dos itens dimensionados para subestação projetada.

Tabela 23 – Dimensionamento dos elementos que compõe a SE Equatorial

| Descrição | Utilizado |
|---|--|
| Cabo do Ramal de Entrada | Cabo coberto, 50 mm ² [1/0 AWG CA]. |
| Barramento para classe de tensão primária | Barramento de cobre em vergalhão, Ø 6,35 mm, espaçamento de 32 cm. |
| Elos fusíveis para instalação | Chave seccionadora tripolar. abertura s/c, c/ porta fusíveis 25K, 15K e 12K, para tensões de 13,8 kV, 23,1kV e 34,5 kV, respectivamente. |
| Cabo para malha de Aterramento | Cabo de cobre nu, 50 mm ² . |
| Tela de proteção dos cubículos | Tela de proteção, arame de aço 12 BWG, malha máximo 20x20mm. |
| Haste para sistema de aterramento | Sistema de aterramento c/ hastes de aço revestido a cobre, 2,40m x 5/8 pol (16 mm), afastamento mínimo de 2,40m. |

Fonte: O Autor, 2023.

Sendo assim, nesse capítulo são mostrados os projetos elétricos comparativos para baixa e média tensão desenvolvidos. Além disso, foram elaborados os memoriais de cálculo para ambos os projetos, ficando disponíveis para consulta nos apêndices A e E.

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 RGE X Equatorial – Baixa tensão

A partir do projeto elaborado, pôde-se identificar alguns tópicos que diferem entre os regulamentos aplicadas pelas distribuidoras RGE e Equatorial em um projeto elétrico de BT. Um dos pontos principais, é a forma de cálculo de previsão de carga que, para RGE, é estabelecida uma forma de cálculo específica com a inclusão de alguns exemplos de aplicação em seu regulamento para facilitar a compreensão.

Em contrapartida, o regulamento da Equatorial apenas indica que seus clientes estejam em conformidade com a NBR 5410:2008, não fornecendo uma forma clara de cálculo para a previsão de carga. Esse fator se destaca, pois o dimensionamento do padrão de entrada dessa concessionária depende exclusivamente da previsão de carga.

Em ambos os regulamentos, é fornecida a equação para o cálculo de demanda, entretanto, a NT 001 não informa como realizar a aplicação do valor calculado. Já no GED 13, além de informar a forma de cálculo, especifica-se quando se faz necessário realizá-lo e em quais tabelas de dimensionamento deve ser utilizado.

Em consonância com o GED 13, esperava-se que os valores de demanda calculados através da NT 001 fossem utilizados para o dimensionamento do padrão de entrada conjuntamente com a carga prevista, fato que não se concretiza na execução do regulamento. Esse ponto se destaca em função de que os regulamentos de BT de outras distribuidoras como Cemig, Celesc e até mesmo seu regulamento antecessor (RIC BT – Regulamento de Instalações Consumidoras de baixa tensão), utilizam o valor de demanda para dimensionamento do padrão de entrada. Na Tabela 24, pode-se verificar os valores distintos calculados para previsão de carga e de demanda para um mesmo projeto utilizando os dois regulamentos estudados.

Tabela 24 – Valores de previsão de carga e demanda para GED 13 e NT 001

| Previsão | RGE – GED 13 | Equatorial – NT 001 |
|---------------------------|--------------|---------------------|
| Previsão total de Carga | 28,6 kW | 30,54 kW |
| Previsão total de Demanda | 23,79 kVA | 27,71 kVA |

Fonte: O Autor, 2023.

Em relação à previsão de carga, os valores obtidos ficaram próximos e a diferença entre os dois regulamentos é de 1,94 kW. Contudo, os valores de previsão de demanda ficaram com uma diferença mais expressiva, sendo de 3,92 kVA. Isso se deve à diferença nos métodos utilizados pelas distribuidoras para o cálculo de demanda, além dos diferentes valores aplicados para os fatores de demanda e de potência.

Os impactos causados pelas diferenças nos valores de previsão de carga e de demanda ficam nítidos quando se faz uma comparação dos parâmetros estabelecidos para o padrão de entrada, dependente desses valores. São atribuídas dimensões distintas para os condutores do ramal de entrada, disjuntores, eletrodutos de entrada e condutores de aterramento.

De forma geral, os parâmetros mínimos estabelecidos pela Equatorial são mais robustos em comparação com os da RGE para um mesmo projeto (apresentados na Tabela 25). Por consequência, os custos para sua instalação serão mais elevados, onerando os seus clientes, e ainda se deve levar em consideração os casos de readequações das UCs instaladas com o base no RIC BT, que podem apresentar dificuldades diante dos novos parâmetros de dimensionamentos estabelecidos pela NT 001.

Tabela 25 – Comparação dos parâmetros de dimensionamento do padrão de entrada

| Parâmetro | Fornecimento em 127/220V | | Fornecimento em 220/380V | |
|---|--------------------------|------------|--------------------------|------------|
| | RGE | Equatorial | RGE | Equatorial |
| Conductor Ramal de entrada (mm ²) | 25 | 25 | 10 | 16 |
| Disjuntor (A) | 80 | 100 | 40 | 80 |
| Eletroduto entrada (mm) | 40 | 50,8 | 40 | 50,8 |
| Conductor de aterramento (mm ²) | 10 | 25 | 10 | 16 |
| Eletroduto de aterramento (mm) | 20 | 25,4 | 20 | 25,4 |
| Comp. mínimo da haste aterramento (m) | 2,4 | 1,5 | 2,4 | 1,5 |

Fonte: O Autor, 2023.

O sistema de aterramento presente no regulamento da RGE contém informações com maior grau de detalhamento, em comparação ao regulamento da Equatorial. O comprimento mínimo das hastes de aterramento tem uma diferença expressiva e também é especificada pela RGE a distância máxima para instalação da haste de aterramento em relação a base do poste. Em contrapartida, não é informado pela Equatorial a posição que deve ser instalada a haste de aterramento.

Além dos pontos abordados acima, foi observado que a altura mínima estabelecida para os postes é distinta entre os dois regulamentos. A Equatorial determina que podem ser utilizados

postes com altura de 5 m e 7 m, com altura livre mínima de 3,5 m e 5,5 m, dependendo do ramal de ligação. Por outro lado, a RGE estabelece que seus clientes devem ter postes com altura de 7 m com altura livre de 6,15 m.

Destaca-se que a RGE disponibiliza aos seus clientes uma maior variedade de modelos de postes para elaboração do projeto, contemplando modelos de concreto armado, fibra de vidro e aço galvanizado. Em compensação, a Equatorial disponibiliza somente modelos de concreto armado para o fornecimento de energia trifásico.

Vale ressaltar que a RGE também possibilita acesso aos três tipos de fornecimento (monofásico, bifásico e trifásico) para ambas as tensões de fornecimento, 127/220V e 220/380V. Enquanto isso, a Equatorial fornece acesso aos três tipos de fornecimento somente para tensão de fornecimento em 127/220V; consumidores com tensão de fornecimento em 220/380V têm a possibilidade de optar apenas pelos tipos monofásico ou trifásico.

4.2 RGE X Equatorial – Média tensão

Após a elaboração dos projetos de MT, pode-se observar que os regulamentos divergem em alguns itens. Em relação ao cálculo de carga, em ambos os regulamentos são fornecidas tabelas para o cálculo de previsão de carga das instalações, assim como a equação do cálculo de demanda. No entanto, a RGE apresenta duas formas de cálculo para demanda e a sua utilização depende do ramo de atividade da instalação (prestação de serviços ou transformação). Já a Equatorial apresenta somente um modelo para o cálculo de demanda, não levando em consideração o ramo de atividade da instalação.

Essa diferença pode resultar em uma diferença expressiva nos valores de demanda calculados em instalações classificadas com o ramo de atividade de transformação, porque nesses casos a RGE deixa a cargo do projetista definir o valor do fator de demanda, o que causa um impacto direto no valor da demanda. Pode-se observar, na Tabela 26, os valores calculados de demanda e a divergência entre eles.

Tabela 26 – Valores de carga e demanda para GED 2855 e NT 002

| Previsão | RGE – GED 2855 | Equatorial – NT 002 |
|---------------------------|----------------|---------------------|
| Previsão total de Carga | 571,13 kW | 571,13 kW |
| Previsão total de Demanda | 399,22 kVA | 487,26 kVA |

Fonte: O Autor, 2023.

Outro ponto de divergência entre as duas concessionárias é o tamanho da SE. Nos modelos disponibilizados em seus regulamentos, constatou-se que a SE da RGE necessita de uma área maior do que a da Equatorial para o mesmo modelo de subestação. Utilizando-se desses modelos, foram projetadas as SE's dessa análise, delimitando diferença.

A RGE, para esse projeto, determina que seja utilizado o cabo de ramal de entrada de 70 mm², enquanto a Equatorial informa que deve ser utilizado o de 50 mm². Os barramentos internos também divergem; utilizando os modelos em vergalhão de cobre, tem-se os diâmetros de 5,16 mm e 6,35mm para RGE e Equatorial respectivamente.

O sistema de aterramento é outro item que se destaca; o GED 2855 descreve como deve ser realizado o aterramento da SE, informando os limites de resistência máxima em 10 e 25 ohms, o espaçamento máximo de 3 m entre as hastes e a necessidade de anel de aterramento circundando a subestação e conectado ao sistema de aterramento externo afastado a 1 metro da edificação. A NT 002 apresenta um sistema de aterramento mais simples, incluindo somente hastes internas com afastamento máximo de 2,4 m, previsão de utilização das armaduras do concreto da edificação como hastes/eletrodos de aterramento e o limite de resistência em 10 ohms com possibilidade de energização para resistências de até 50 ohms.

O sistema de proteção utilizado por ambas as concessionárias, para o projeto em análise, é semelhante. Devem ser instalados elos fusíveis de modo que fiquem coordenados com o sistema da distribuidora, os valores e tipos dos elos fusíveis são disponibilizados em tabelas.

Entretanto, a RGE disponibiliza os valores para potências de transformadores até 300 kVA, acima desse valor a distribuidora deve ser consultada. Enquanto isso, a Equatorial informa o elo fusível que deve ser utilizado para todas as potências atendidas pelo regulamento.

Além disso, ambos os regulamentos determinam a implementação de sistema de proteção contra sobrecorrentes em instalações que possuam transformadores com potência superior a 300 kVA. Nesses casos, é estabelecido a instalação de um disjuntor geral trifásico acionado por um relé de proteção com as funções 50 (sobrecorrente instantânea) e 51 (sobrecorrente temporizada) com um tempo de atuação de 300 milissegundos.

A proteção contra descargas atmosféricas realizada por meio de para-raios de óxido de zinco (ZnO) é prevista em ambos os regulamentos, porém, a RGE se limita a utilização de para-raios com isolamento polimérico, não permitindo o uso de isolamento em porcelana. A Equatorial não informando o tipo de isolamento. A Tabela 27 apresentada características das duas subestações projetadas para o atendimento da carga, evidenciando as divergências e similaridades dos sistemas.

Tabela 27 – Elementos que compõe a SE

| Descrição | RGE | Equatorial |
|--|---|--|
| Área interna da SE | 7,85m x 3,80m, área de 29,83 m ² | 6,30m x 4,10m, área de 25,83 m ² |
| Cabo do Ramal de Entrada | Cabo coberto, 70 mm ² [1/0 AWG CA]. | Cabo coberto, 50 mm ² [1/0 AWG CA]. |
| Barramento para classe de tensão primária | Barramento de cobre em vergalhão, Ø 5,16 mm, espaçamento de 32 cm. | Barramento de cobre em vergalhão, Ø 6,35 mm, espaçamento de 32 cm. |
| Elos fusíveis para instalação | Distribuidora deve ser consultada. | Chave seccionadora tripolar. abertura s/c, c/ porta fusíveis 25K, 15K e 12K, para tensões de 13,8 kV, 23,1kV e 34,5 kV, respectivamente. |
| Cabo para malha de Aterramento | Cabo de cobre nu, 50 mm ² . | Cabo de cobre nu, 50 mm ² . |
| Tela de proteção dos cubículos | Tela de proteção, arame de aço 12 BWG, malha máximo 20x20mm. | Tela de proteção, arame de aço 12 BWG, malha máximo 20x20mm. |
| Haste para sistema de aterramento | Sistema de aterramento c/ hastes de aço revestido a cobre, 2,40m x 5/8 pol (16 mm), afastamento mínimo de 3m. | Sistema de aterramento c/ hastes de aço revestido a cobre, 2,40m x 5/8 pol (16 mm), afastamento mínimo de 2,40m. |
| Cabo para Anel de aterramento no piso junto a parede | Anel de aterramento com cabo de cobre nu, 35 mm ² | Não é mencionado a necessidade do anel de aterramento para a estrutura da instalação |
| Porta da SE | Porta tipo duas folhas, abertura central, 2 x (0,60 x 2,10m). | 31-Porta tipo duas folhas, abertura central, 2 x (0,80 x 2,10m). |
| Disjuntor trifásico acionado por relé | Relé com funções 50/51, temporizado em 300 ms. | Relé com funções 50/51, temporizado em 300 ms. |
| Para-raios | Para-raios de ZnO polimérico | Para-raios de ZnO |

Fonte: O Autor, 2023.

Vale ressaltar que, para os casos enquadrados como edificação de múltiplas unidades consumidoras regulamentados pelo GED 119 e a NT 004, há divergência no cálculo de demanda quando utilizado o modelo de cálculo através de área útil. Ao determinar a demanda, a RGE faz a diferenciação em subgrupos de demanda (iluminação, PTUG e PTUE), enquanto a Equatorial não faz tal distinção, adotando um valor médio geral de demanda através da área.

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho teve como objetivo comparar os regulamentos vigentes das duas maiores distribuidoras de energia elétrica atuantes no estado do Rio Grande do Sul, especificamente nos âmbitos de baixa e de média tensão. Para isso, foram elaborados projetos de instalações elétricas que se enquadrassem em ambos níveis de tensão.

A comparação em baixa tensão foi realizada a partir da elaboração de um projeto residencial, enquadrado como trifásico em ambas concessionárias. A principal divergência encontrada entre os regulamentos, foi no método de determinação da carga; a Equatorial não estabelece um modelo para seus clientes utilizarem, fato evidenciado a partir do dimensionamento do padrão de entrada, tendo em vista que a determinação de todos os parâmetros da instalação depende da carga da UC.

Para fins de comparação dos dimensionamentos do padrão de entrada, foram utilizados valores mínimos de carga estabelecidos na NBR 5410:2008 para a Equatorial e o método proposto pela RGE em seu regulamento. Dessa forma, observou-se que os parâmetros mínimos estabelecidos para construção do padrão de entrada dos clientes da Equatorial são mais robustos que os da RGE para o mesmo projeto residencial. Outro ponto de destaque é que, para clientes da Equatorial com tensão de fornecimento em 380/220V, não há disponibilização de fornecimento do tipo bifásico em seu regulamento.

As diretrizes de fornecimento em média tensão foram comparadas a partir da elaboração de um perfil de carga baseada em motores elétricos trifásicos. Dessa forma, foi possível obter valores de carga e de demanda suficientes para que o padrão de entrada solicitado pelas concessionárias, para atendimento da demanda, fosse a partir de subestações abrigadas. Foram elaborados projetos das subestações para análise comparativa entre as duas distribuidoras. A partir dessa avaliação, destaca-se a forma de cálculo para demanda, na qual a RGE nos fornece duas formas que são dependentes do ramo de atividade da instalação, enquanto a Equatorial utiliza o mesmo procedimento para todos os clientes.

De forma geral, o sistema de proteção utilizado por ambas as concessionárias é semelhante, com algumas diferenças no sistema de aterramento e dimensionamento de bitolas de condutores do ramal de entrada e barramentos internos. Além disso, ressalta-se que o regulamento da RGE informa os procedimentos que devem ser realizados pelos clientes com detalhamento superior ao regulamento da Equatorial.

Por conta das constantes atualizações e novas aquisições por parte das concessionárias de energia elétrica no país, engenheiros eletricitistas e afins podem encontrar dificuldades ao se

proporem a executar o desenvolvimento de projetos elétricos para novos consumidores. Sendo assim, esse trabalho teve o intuito principal de funcionar como um guia de acesso rápido para as principais divergências nas diretrizes da Equatorial e RGE no momento de se planejar um projeto elétrico de baixa ou de média tensão no estado do Rio Grande do Sul.

Como sugestão de trabalho futuro, indica-se a realização de uma análise comparativa dos regulamentos da RGE e Equatorial para edificações de múltiplas unidades consumidoras com embasamento teórico focal no GED 119 e na NT 004. O objetivo principal dessa pesquisa seria o de destacar as divergências nas formas para os cálculos de carga e de demanda que impactam nas exigências mínimas no dimensionamento dos padrões de entrada.

BIBLIOGRAFIA

COSTA, E. C. S.; Diretrizes e critérios de projetos de redes aéreas de distribuição urbanas. Monografia de trabalho de conclusão de curso – **UNIJUÍ**, 2013. Disponível em: <<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/2249/tcc%2014-01%20%20final%20com%20atualiza%c3%a7%c3%a3o%20banca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 07 jul. 2023.

COTRIM, A. M. B.; Instalações Elétricas. SÃO PAULO: **Editora PEARSON**, 2009.

CREDER, H.; Instalações Elétricas. Rio de Janeiro: **Editora LTC** - Livros Técnicos e Científicos Ltda, 2016.

Gerenciamento Eletrônico de Documentos – GED 13, Fornecimento em Tensão Secundária de Distribuição, Normas CPFL Energia, out. 2022. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/normas-tecnicas#230548828-1247834542>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

Gerenciamento Eletrônico de Documentos – GED 119, Fornecimento de Energia Elétrica a Edifícios de uso Coletivo, Normas CPFL Energia, maio 2022. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/normas-tecnicas#230548828-1247834542>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

Gerenciamento Eletrônico de Documentos – GED 2855, Fornecimento de Energia Elétrica a Edifícios de uso Coletivo, Normas CPFL Energia, maio de 2022. Disponível em: <<https://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-2855.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2023.

Gerenciamento Eletrônico de Documentos – GED 2856, Fornecimento de Energia Elétrica a Edifícios de uso Coletivo, Normas CPFL Energia, janeiro de 2023. Disponível em: <<https://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-2856.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2023.

Gerenciamento Eletrônico de Documentos – GED 2859, Fornecimento de Energia Elétrica a Edifícios de uso Coletivo, Normas CPFL Energia, maio de 2022. Disponível em: <<https://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-2859.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2023.

Gerenciamento Eletrônico de Documentos – GED 2861, Fornecimento de Energia Elétrica a Edifícios de uso Coletivo, Normas CPFL Energia, junho de 2022. Disponível em: <<https://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-2861.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2023.

Gerenciamento Eletrônico de Documentos – GED 19322, Fornecimento de Energia Elétrica a Edifícios de uso Coletivo, Normas CPFL Energia, maio de 2023. Disponível em: <<https://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-19322.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2023.

INÁCIO, E. C.; **GOMES, W. M.;** Redes de distribuição de energia elétrica: comparativo entre requisitos das concessionárias CELESC D, CPFL ENERGIA e CEMIG D utilizando modelos em BIM – **UNISUL**, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4172>>. Acesso em: 07 jul. 2023.

MAMEDE, J. F.; Instalações Elétricas Industriais. Rio de Janeiro: **Editora LTC** - Livros Técnicos e Científicos, 2017.

Normas Brasileiras – NBR 5410, Instalações Elétricas de Baixa Tensão, Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT), 2008.

Normas Brasileiras – NBR 14039, Instalações Elétricas De Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV, Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT), 2021.

Norma de Distribuição – ND 5.1, Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária – Rede de Distribuição Aérea – Edificações Individuais, CEMIG, dezembro de 2022. Disponível em: < https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2022/03/nd5_1_000001p.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2023.

Norma Técnica – NT.001, Fornecimento De Energia Elétrica Em Baixa Tensão, Revisão, Norma Equatorial Energia, março de 2023. Disponível em: < <https://ceee.equatorialenergia.com.br//ceee/normas-tecnicas/normas-de-fornecimento/minutas-comunicado-revisao-normas-eqtl-1/minuta-nt-001-fornecimento-de-energia-eletrica-em-baixa-tensao>>. Acesso em: 2 jul. 2023.

Norma Técnica – NT.002, Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão (13,8kV, 23,1kV e 34,5kV), Norma Equatorial Energia, março de 2023. Disponível em: < <https://ceee.equatorialenergia.com.br//ceee/normas-tecnicas/normas-de-fornecimento/minutas-comunicado-revisao-normas-eqtl-1/nt-002-fornecimento-de-energia-eletrica-em-media-tensao-13-8kv-23-1kv-34-5kv/nt-002-fornecimento-de-energia-eletrica-em-media-tensao-13-8kv-23-1kv-34-5kv>>. Acesso em: 2 jul. 2022.

Norma Técnica – NT.004, Fornecimento de Energia Elétrica a Edificações em Múltiplas Unidades Consumidoras, Norma Equatorial Energia, março de 2023. Disponível em: < <https://ceee.equatorialenergia.com.br//ceee/normas-tecnicas/normas-de-fornecimento/minutas-comunicado-revisao-normas-eqtl-1/nt-004-fornecimento-de-energia-eletrica-a-multiplas-unidades-consumidoras/nt-004-fornecimento-de-energia-eletrica-a-multiplas-unidades-consumidoras>>. Acesso em: 2 jul. 2022.

Norma Técnica – NT.045, Postes para padrão de entrada, Norma Equatorial Energia, março de 2023. Disponível em: < <https://ceee.equatorialenergia.com.br//ceee/normas-tecnicas/normas-de-fornecimento/minutas-comunicado-revisao-normas-eqtl-1/nt-045-postes-para-padrao-de-entrada/nt-045-postes-para-padrao-de-entrada>>. Acesso em: 2 jul. 2022.

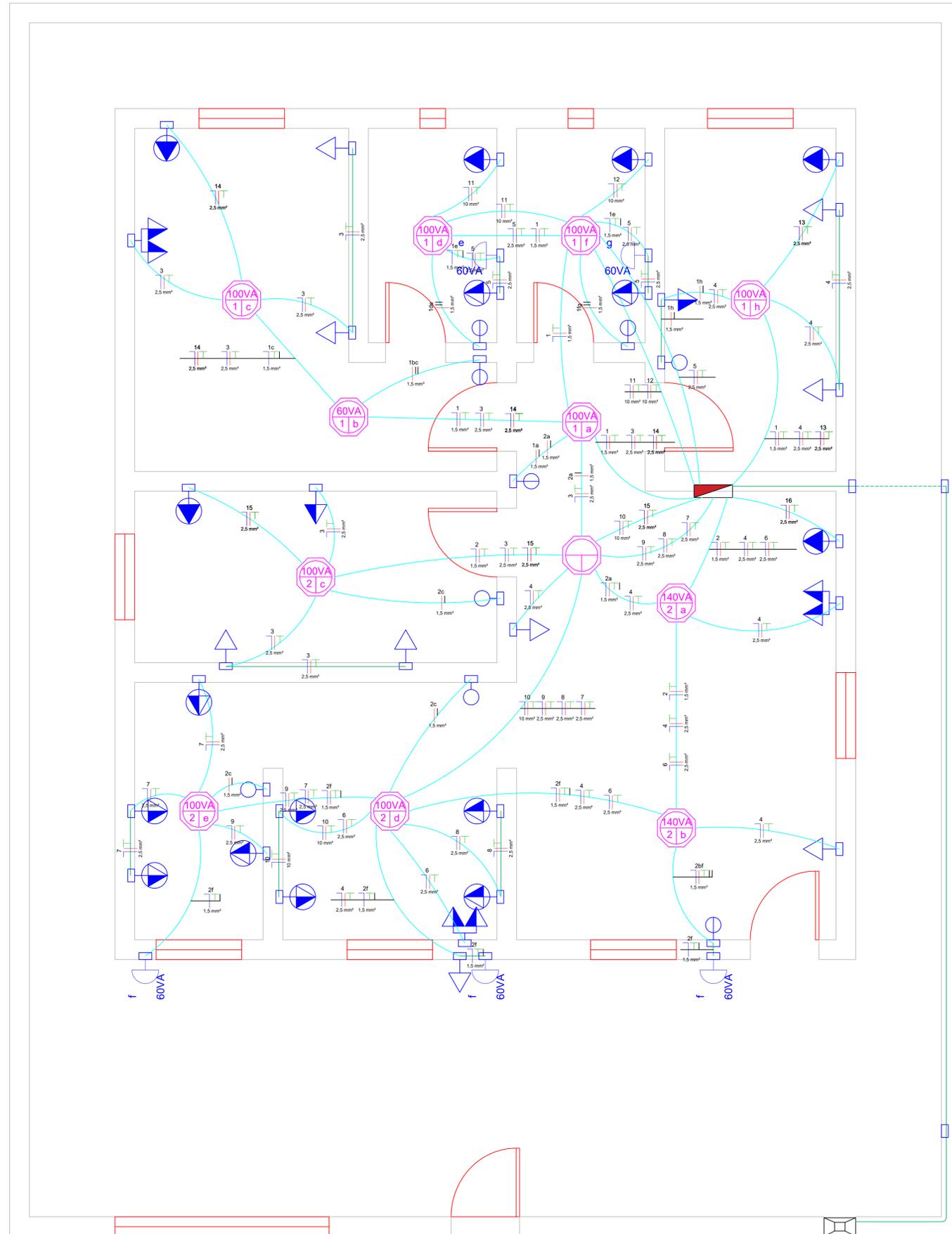
Norma Técnica – N-321.0001, Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição, CELESC, julho de 2019. Disponível em: < <https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/padrao-entrada/N3210001-Fornecimento-Energia-Eletrica-Tensao-Secundaria.pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2023.

Resolução Normativa – REN nº 1000, Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT), dez. 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

Regulamento de Instalações Consumidoras – RIC, Regulamento de instalações consumidoras – fornecimento em tensão secundária – rede de distribuição aérea, Companhia Estadual de Energia Elétrica – CEEE-D, mar. 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PLANTA BAIXA – PROJETO BAIXA TENSÃO



SIMBOLOGIA

| | |
|--------------|--|
| | Tomada Alta 2P+T, 10A, a 210cm do piso, em caixa 4x2 de embutir |
| | Tomada Média 2P+T, 10A, a 120cm do piso, em caixa 4x2 de embutir |
| | Tomada Baixa 2P+T, 10A, a 30cm do piso, em caixa 4x2 de embutir |
| | Tomada Alta 2P+T, 20A, a 210cm do piso, em caixa 4x2 de embutir |
| | Tomada Média 2P+T, 20A, a 120cm do piso, em caixa 4x2 de embutir |
| | Tomada Baixa 2P+T, 20A, a 30cm do piso, em caixa 4x2 de embutir |
| | Tomada Média dupla 2P+T, 10A, a 120cm do piso, em caixa 4x2 de embutir |
| | Ponto de Luz na parede (Arandela) |
| | Interruptor simples de uma seção, em caixa 4x2 de embutir |
| | Interruptor duplo de duas seções, em caixa 4x2 de embutir |
| | Condutores Neutro, Fase, Terra e Retorno, respectivamente |
| | Eletroduto corrugado PEAD - Embutido no Teto |
| | Eletroduto corrugado PEAD - Embutido na Parede |
| | Eletroduto corrugado PEAD - Enterrado |
| | Painel elétrico - Embutido em parede |
| | Poste de concreto armado com medição direta |
| ESCALA 1:100 | |

APÊNDICE B

MEMORIAL DE CÁLCULO - APLICAÇÃO EM BT REGULAMENTOS RGE E EQUATORIAL

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 CONSIDERAÇÕES GERAIS | 3 |
| 2 DISCRIMINAÇÕES TÉCNICAS | 3 |
| 2.1 CONCEPÇÃO DO PROJETO | 3 |
| 2.2 DIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS INTERNOS DA INSTALAÇÃO | 6 |
| 3 MEMÓRIA DE CÁLCULO | 10 |
| 3.1 CÁCULOS RGE - GED 13 | 10 |
| 3.1.1 DETERMINAÇÃO DA CARGA | 10 |
| 3.1.2 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA | 10 |
| 3.1.3 DIMENSIONAMENTO DO PADRÃO DE ENTRADA | 12 |
| 3.2 CÁCULOS EQUATORIAL – NT 001 | 14 |
| 3.2.1 DETERMINAÇÃO DA CARGA | 14 |
| 3.2.2 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA | 14 |
| 3.2.3 DIMENSIONAMENTO DO PADRÃO DE ENTRADA | 16 |

1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente memorial de cálculo tem como objetivo apresentar os cálculos realizados para determinação de carga, de demanda e demais parâmetros utilizados para o dimensionamento do padrão de entrada de energia elétrica das concessionárias de energia elétrica RGE e Equatorial para clientes de baixa tensão (BT). Para tanto, foi elaborada uma planta de imóvel residencial, de acordo com os requisitos estabelecidos pela NBR5410, para realizar o dimensionamento do padrão de entrada.

2 DISCRIMINAÇÕES TÉCNICAS

Para realizar o dimensionamento do padrão de entrada foi elaborada uma planta de imóvel residencial de acordo com os requisitos estabelecidos pela NBR5410.

2.1 CONCEPÇÃO DO PROJETO

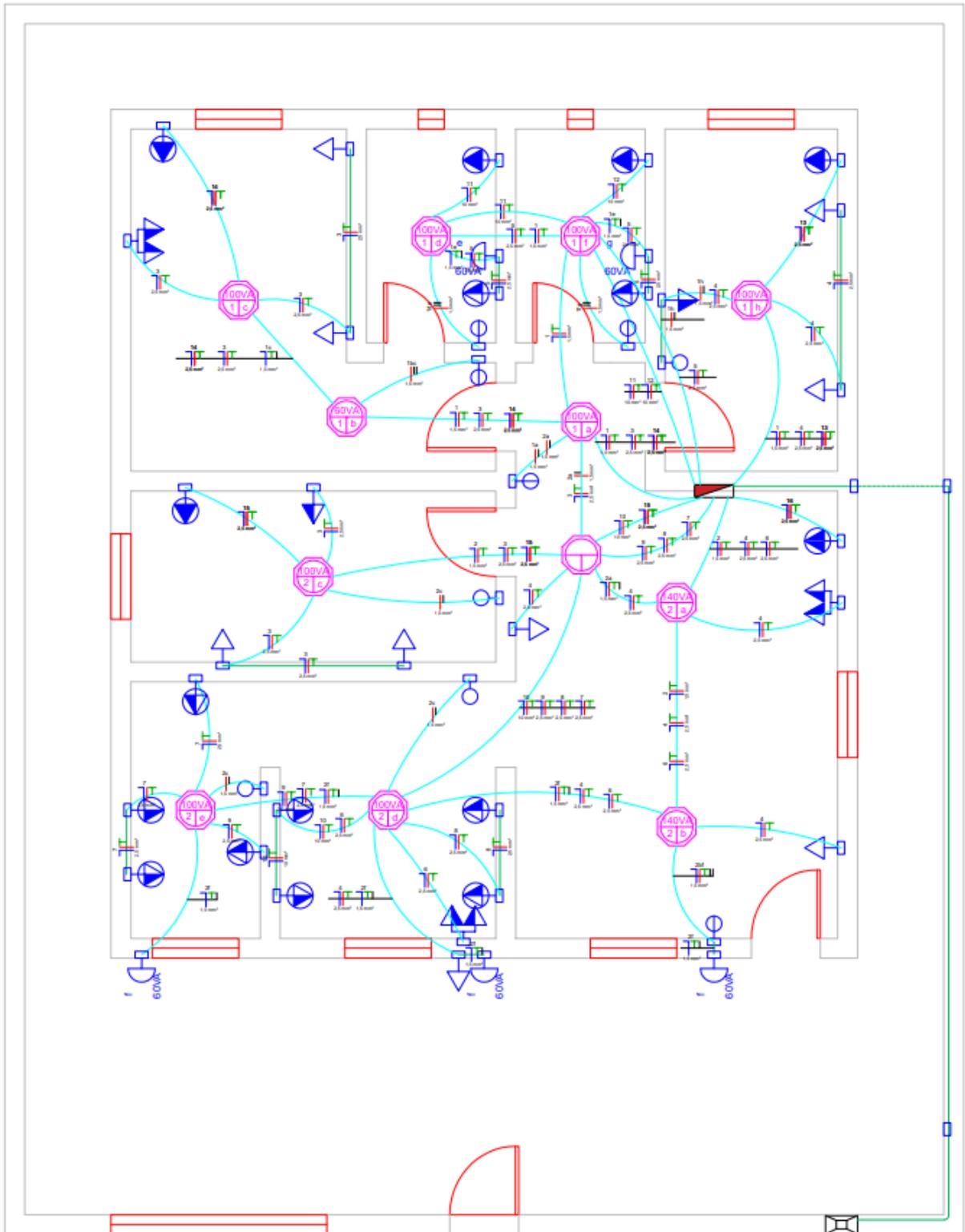
Com objetivo de realizar o cálculo de carga e de demanda, o projeto foi elaborado de forma que a carga fosse superior a 25 kW. Essa definição foi realizada com base no regulamento da RGE, na qual é estabelecido para seus clientes o cálculo de demanda somente para UC's com carga superior a 25 kW. O Quadro 1 apresenta a previsão total de carga do projeto, elaborado em conformidade com a NBR-5410.

Quadro 1 – Previsão de carga do projeto residencial

| Dependência | Tamanho | | Ponto de Iluminação | | Pontos de Tomada | | Pontos de tomada - Uso Específico | |
|--|---------------|------------------------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| | Perímetro [m] | Área [m ²] | Nº pontos | Pot. Total [VA] | Nº pontos | Pot. Total [VA] | Aparelho | Pot. Total [VA] |
| Suíte | 16,46 | 12,20 | 2 | 160 | 4 | 400 | Ar condicionado | 1.100 |
| Quarto | 12,00 | 8,00 | 1 | 100 | 3 | 300 | Ar condicionado | 1.100 |
| Corredor | 6,00 | 2,25 | 1 | 100 | - | - | - | - |
| Banheiro 01 | 8,00 | 3,75 | 2 | 160 | 1 | 600 | Chuveiro | 6.500 |
| Banheiro 02 | 8,00 | 3,75 | 2 | 160 | 1 | 600 | Chuveiro | 6.500 |
| Escritório | 12,46 | 8,46 | 1 | 100 | 3 | 300 | Ar condicionado | 1.100 |
| Sala | 17,92 | 19,50 | 2 | 280 | 4 | 400 | Ar condicionado | 1.650 |
| Cozinha | 11,00 | 7,50 | 1 | 100 | 5 | 2.000 | Torneira Elétrica | 5.500 |
| Área de Serviço | 9,00 | 4,50 | 1 | 100 | 3 | 1.800 | Máquina de Lavar | 1.000 |
| Varanda | 20,30 | 12,98 | 3 | 180 | 1 | 600 | - | - |
| Total | 121,14 | 82,88 | 16 | 1.440 | 25 | 7.000 | 8 | 24.450 |
| Total de Previsão de Carga [VA] | | | 32.890 | | | | | |

Fonte: O Autor, 2023.

Na Figura 1, é apresentada a planta baixa do projeto com o diagrama unifilar correspondente aos 16 circuitos da instalação. Para determinação dos condutores da instalação, foi utilizado o fornecimento de tensão em 380/220V.

Figura 1 – Planta baixa do projeto elaborado

ESCALA 1:100

Fonte: O Autor, 2023.

2.2 DIMENSIONAMENTO DOS CIRCUITOS INTERNOS DA INSTALAÇÃO

Para determinação dos condutores da instalação, foi utilizado o fornecimento de tensão trifásica em 220/380V. No Quadro 2, é apresentada a divisão de cargas entre as três fases e as potências de cada circuito projetado.

Quadro 2 – Divisão das fases

| Divisão nas Fases | | | | | | |
|-------------------|---|------------|---------------|-------------------------|--------------|--------------|
| Circuitos | Tipo | Tensão [V] | Potência [VA] | Potência nas Fases [VA] | | |
| | | | | R | S | T |
| 1 | Iluminação - Suíte, Quarto Corredor e Banheiros 01 e 02 | 220 | 680 | | | 680 |
| 2 | Iluminação - Escritório, Sala, Cozinha, Área de serviço e Varanda | 220 | 760 | | | 760 |
| 3 | TUG - Suíte e Escritório | 220 | 700 | | | 700 |
| 4 | TUG - Quarto, Sala e Varanda | 220 | 1300 | | 1300 | |
| 5 | TUG – Banheiros | 220 | 1200 | | 1200 | |
| 6 | TUG - Cozinha I | 220 | 800 | | | 700 |
| 7 | TUG - Área Serviço | 220 | 1800 | 1800 | | |
| 8 | TUG - Cozinha II | 220 | 1200 | 1200 | | |
| 9 | TUE - Máquina de Lavar | 220 | 1000 | | 1000 | |
| 10 | TUE - Torneira Elétrica | 220 | 5500 | | | 5500 |
| 11 | TUE - Chuveiro 01 | 220 | 6500 | | 6500 | |
| 12 | TUE - Chuveiro 02 | 220 | 6500 | 6500 | | |
| 13 | TUE - Ar condicionado 01 | 220 | 1100 | | | 1100 |
| 14 | TUE - Ar condicionado 02 | 220 | 1100 | | 1100 | |
| 15 | TUE - Ar condicionado 03 | 220 | 1100 | 1100 | | |
| 16 | TUE - Ar condicionado 04 | 220 | 1650 | | | 1650 |
| Total | | | | 10600 | 11100 | 11090 |

Fonte: O Autor, 2023.

Foi realizado o dimensionamento dos condutores através da capacidade de condução de corrente, da queda de tensão e dos valores mínimos estabelecidos pela NBR 5410. Nos Quadros 3, 4 e 5, é apresentada a determinação dos condutores.

Quadro 3 – Dimensionamento da capacidade de condução de corrente

| CCC | | | | | | |
|-----------|--------------------|------|-----|--------------------|----------------------|-----------------------------|
| Circuitos | I _s [A] | FCT | FCA | I _B [A] | I _{tab} [A] | Condutor [mm ²] |
| 1 | 3,09 | 1,00 | 0,7 | 4,42 | 9 | 0,5 mm ² |
| 2 | 3,45 | 1,00 | 0,7 | 4,94 | 9 | 0,5 mm ² |
| 3 | 3,18 | 1,00 | 0,7 | 4,55 | 9 | 0,5 mm ² |
| 4 | 5,91 | 1,00 | 0,7 | 8,44 | 9 | 0,5 mm ² |
| 5 | 5,45 | 1,00 | 0,7 | 7,79 | 9 | 0,5 mm ² |
| 6 | 3,64 | 1,00 | 0,7 | 5,19 | 9 | 0,5 mm ² |
| 7 | 8,18 | 1,00 | 0,7 | 11,69 | 14 | 1 mm ² |
| 8 | 5,45 | 1,00 | 0,7 | 7,79 | 9 | 0,5 mm ² |
| 9 | 4,55 | 1,00 | 0,7 | 6,49 | 9 | 0,5 mm ² |
| 10 | 25,00 | 1,00 | 0,7 | 35,71 | 41 | 6,0 mm ² |
| 11 | 29,55 | 1,00 | 0,8 | 36,93 | 41 | 6,0 mm ² |
| 12 | 29,55 | 1,00 | 0,8 | 36,93 | 41 | 6,0 mm ² |
| 13 | 5,00 | 1,00 | 0,7 | 7,14 | 9 | 0,5 mm ² |
| 14 | 5,00 | 1,00 | 0,7 | 7,14 | 9 | 0,5 mm ² |
| 15 | 5,00 | 1,00 | 0,7 | 7,14 | 9 | 0,5 mm ² |
| 16 | 7,50 | 1,00 | 0,7 | 10,71 | 11 | 0,75 mm ² |

Fonte: O Autor, 2023.

Quadro 4 – Dimensionamento por queda de tensão (1)

| Queda de Tensão | | | | |
|-----------------|------|---------------------|-----------|-----------------------------|
| Circuitos | e[%] | Distância do QT [m] | P.m [W.m] | Condutor [mm ²] |
| 1 | 0,02 | - | 2.484,60 | 1,5mm ² |
| 2 | 0,02 | - | 3.917,00 | 1,5mm ² |
| 3 | 0,02 | - | 4.983,00 | 1,5mm ² |
| 4 | 0,02 | - | 7.647,00 | 1,5mm ² |
| 5 | 0,02 | - | 5.826,00 | 1,5mm ² |
| 6 | 0,02 | - | 5.374,00 | 1,5mm ² |
| 7 | 0,02 | - | 14.616,00 | 1,5mm ² |
| 8 | 0,02 | - | 10.068,00 | 1,5mm ² |
| 9 | 0,02 | 7,46 | 7.460,00 | 1,5mm ² |
| 10 | 0,02 | 7,30 | 40.150,00 | 1,5mm ² |
| 11 | 0,02 | 5,47 | 35.555,00 | 1,5mm ² |
| 12 | 0,02 | 4,18 | 27.170,00 | 1,5mm ² |
| 13 | 0,02 | 3,91 | 4.301,00 | 1,5mm ² |
| 14 | 0,02 | 7,25 | 7.975,00 | 1,5mm ² |
| 15 | 0,02 | 5,67 | 6.237,00 | 1,5mm ² |
| 16 | 0,02 | 1,37 | 2.260,50 | 1,5mm ² |

Fonte: O Autor, 2023.

Quadro 5 – Dimensionamento por queda de tensão (2)

| Queda de Tensão | | | | | |
|-----------------|----------|---------------------|-----------|--------------------|-----------------------------|
| CKT | Potência | Distância do QT [m] | P.m [W.m] | Σ P.m [W.m] | Condutor [mm ²] |
| 1 | 100 | 1,51 | 151 | 2484,6 | 1,5mm ² |
| | 60 | 3,79 | 227,4 | | |
| | 100 | 5,2 | 520 | | |
| | 100 | 4,68 | 468 | | |
| | 60 | 5,34 | 320,4 | | |
| | 100 | 3,39 | 339 | | |
| | 60 | 4,03 | 241,8 | | |
| | 100 | 2,17 | 217 | | |
| 2 | 140 | 1,17 | 163,8 | 3917 | 1,5mm ² |
| | 140 | 3,36 | 470,4 | | |
| | 100 | 4,77 | 477 | | |
| | 100 | 6,38 | 638 | | |
| | 100 | 8,25 | 825 | | |
| | 60 | 4,81 | 288,6 | | |
| | 60 | 7,63 | 457,8 | | |
| | 60 | 9,94 | 596,4 | | |
| 3 | 100 | 6,39 | 639 | 4983 | 1,5mm ² |
| | 100 | 8,54 | 854 | | |
| | 200 | 6,54 | 1308 | | |
| | 100 | 6,72 | 672 | | |
| | 100 | 8,82 | 882 | | |
| | 100 | 6,28 | 628 | | |
| 4 | 100 | 3,02 | 302 | 7647 | 1,5mm ² |
| | 100 | 3,59 | 359 | | |
| | 100 | 5,69 | 569 | | |
| | 100 | 3,05 | 305 | | |
| | 100 | 5,08 | 508 | | |
| | 200 | 3,03 | 606 | | |
| | 600 | 8,33 | 4998 | | |
| 5 | 600 | 5,51 | 3306 | 5826 | 1,5mm ² |
| | 600 | 4,2 | 2520 | | |
| 6 | 600 | 6,3 | 3780 | 5374 | 1,5mm ² |
| | 200 | 7,97 | 1594 | | |
| 7 | 600 | 8,31 | 4986 | 14616 | 1,5mm ² |
| | 600 | 7,65 | 4590 | | |
| | 600 | 8,4 | 5040 | | |
| 8 | 600 | 7,89 | 4734 | 10068 | 1,5mm ² |
| | 600 | 8,89 | 5334 | | |

Fonte: O Autor, 2023.

O Quadro 6 apresenta um resumo dos dimensionamentos e o condutor adotado para cada circuito a partir dos limites mínimos de cada método aplicado.

Quadro 6 – Resumo de escolha de condutores

| RESUMO | | | | | | |
|------------------|-------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Circuitos | Tipo | Potência [VA] | C.C.C. [mm²] | Q.T. [mm²] | NBR-5410 [mm²] | Adotado [mm²] |
| 1 | Iluminação | 680,00 | 0,5 mm ² | 1,5mm ² | 1,5mm ² | 1,5mm ² |
| 2 | Iluminação | 760,00 | 0,5 mm ² | 1,5mm ² | 1,5mm ² | 1,5mm ² |
| 3 | TUG | 700,00 | 0,5 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 2,5mm ² |
| 4 | TUG | 1.300,00 | 0,5 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 2,5mm ² |
| 5 | TUG | 1.200,00 | 0,5 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 2,5mm ² |
| 6 | TUG | 800,00 | 0,5 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 2,5mm ² |
| 7 | TUG | 1.800,00 | 1 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 2,5mm ² |
| 8 | TUG | 1.200,00 | 0,5 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 2,5mm ² |
| 9 | TUE | 1.000,00 | 0,5 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 2,5mm ² |
| 10 | TUE | 5.500,00 | 6,0 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 10,0 mm ² |
| 11 | TUE | 6.500,00 | 6,0 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 10,0 mm ² |
| 12 | TUE | 6.500,00 | 6,0 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 10,0 mm ² |
| 13 | TUE | 1.100,00 | 0,5 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 2,5mm ² |
| 14 | TUE | 1.100,00 | 0,5 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 2,5mm ² |
| 15 | TUE | 1.100,00 | 0,5 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 2,5mm ² |
| 16 | TUE | 1.650,00 | 0,75 mm ² | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 2,5mm ² |

Fonte: O Autor, 2023.

A partir das correntes calculadas, foram dimensionados os disjuntores para os circuitos, conforme Quadro 7.

Quadro 7 – Disjuntores adotados para os circuitos

| DISJUNTORES | | | | | | | |
|--------------------|------------|------------|---------------|----------------------|--------------|--------------------|----------------|
| Circuitos | FCT | FCA | IB [A] | Seção ad. | ICOND | I_Cond*Fat. | DJ_ADOT |
| 1 | 1,00 | 0,70 | 3,09 | 1,5mm ² | 17,50 | 12,25 | 10A |
| 2 | 1,00 | 0,70 | 3,45 | 1,5mm ² | 17,50 | 12,25 | 10A |
| 3 | 1,00 | 0,70 | 3,18 | 2,5mm ² | 24,00 | 16,80 | 10A |
| 4 | 1,00 | 0,70 | 5,91 | 2,5mm ² | 24,00 | 16,80 | 10A |
| 5 | 1,00 | 0,70 | 5,45 | 2,5mm ² | 24,00 | 16,80 | 10A |
| 6 | 1,00 | 0,70 | 3,64 | 2,5mm ² | 24,00 | 16,80 | 10A |
| 7 | 1,00 | 0,70 | 8,18 | 2,5mm ² | 24,00 | 16,80 | 10A |
| 8 | 1,00 | 0,70 | 5,45 | 2,5mm ² | 24,00 | 16,80 | 10A |
| 9 | 1,00 | 0,70 | 4,55 | 2,5mm ² | 24,00 | 16,80 | 10A |
| 10 | 1,00 | 0,70 | 25,00 | 10,0 mm ² | 57,00 | 39,90 | 32A |
| 11 | 1,00 | 0,80 | 29,55 | 10,0 mm ² | 57,00 | 45,60 | 32A |
| 12 | 1,00 | 0,80 | 29,55 | 10,0 mm ² | 57,00 | 45,60 | 32A |
| 13 | 1,00 | 0,70 | 5,00 | 2,5mm ² | 24,00 | 16,80 | 10A |
| 14 | 1,00 | 0,70 | 5,00 | 2,5mm ² | 24,00 | 16,80 | 10A |
| 15 | 1,00 | 0,70 | 5,00 | 2,5mm ² | 24,00 | 16,80 | 10A |
| 16 | 1,00 | 0,70 | 7,50 | 2,5mm ² | 24,00 | 16,80 | 10A |

Fonte: O Autor, 2023.

3 MEMÓRIA DE CÁLCULO

3.1 CÁCULOS RGE - GED 13

3.1.1 DETERMINAÇÃO DA CARGA

O dimensionamento do padrão de entrada para consumires de energia elétrica da RGE deve ser realizado a partir do GED 13, no qual estão presentes os procedimentos que devem ser realizados por seus clientes. O processo de dimensionamento do padrão de entrada deve ser iniciado pelo cálculo de carga da instalação. Nessa etapa, é determinado que deve ser atribuída 100W de potência para iluminação por cômodo; para as TUG's se deve atribuir o valor de 100W para cada ponto, com exceção dos primeiros três pontos de TUG's da cozinha em que o valor atribuído deve ser o de 600W.

Além disso, as potências referentes às TUE's devem ser determinadas a partir da lista de equipamentos disponibilizada pelo regulamento. No Quadro 8, é apresentado o resumo do dimensionamento das potências utilizando os valores estabelecidos pelo GED 13.

Quadro 8 – Previsão de carga a partir da GED 13 da RGE para BT

| Dependência | Ponto de Iluminação | | Pontos de Tomada – Uso Geral | | Pontos de tomada - Uso Específico | |
|---------------------------------------|---------------------|---------------|------------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| | Nºpontos | Pot.Total [W] | Nºpontos | Pot.Total [W] | Aparelho | Pot.Total [W] |
| Suíte | 1 | 100 | 4 | 400 | Ar condicionado | 900 |
| Quarto | 1 | 100 | 3 | 300 | Ar condicionado | 900 |
| Corredor | 1 | 100 | - | - | - | - |
| Banheiro 01 | 1 | 100 | 1 | 100 | Chuveiro | 6.500 |
| Banheiro 02 | 1 | 100 | 1 | 100 | Chuveiro | 6.500 |
| Escritório | 1 | 100 | 3 | 300 | Ar condicionado | 900 |
| Sala | 1 | 100 | 4 | 400 | Ar condicionado | 1.400 |
| Cozinha | 1 | 100 | 5 | 2.000 | Torneira Elétrica | 5.500 |
| Área de Serviço | 1 | 100 | 3 | 300 | Máquina de Lavar | 1.000 |
| Varanda | 1 | 100 | 1 | 100 | - | - |
| Total | 10 | 1.000 | 25 | 4.000 | - | 23.600 |
| Total de Previsão de Carga [W] | | | 28.600 | | | |

Fonte: O Autor, 2023.

3.1.2 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA

O cálculo de demanda deverá ser realizado para os casos em que a carga calculada for superior a 25kW, conforme regulamentos da RGE. Para tanto, deve-se utilizar a equação abaixo com o auxílio das tabelas disponibilizadas no GED 13, onde são informados os valores para os fatores de potência e de demanda de cada índice.

$$D = a + b + c + d + e + f + g + h + i \quad (1)$$

Onde:

D = Demanda total da instalação em kVA;

a = Demanda referente a iluminação (kVA);

b = Demanda referente a chuveiros, torneiras, aquecedores de água e ferros elétricos (kVA);

c = Demanda referente a aquecedor central (kVA);

d = Demanda de secadora de roupa, forno elétrico, máquina de lavar louça e forno de micro-ondas (kVA);

e = Demanda referente a fogões elétricos (kVA);

f = Demanda referente ao condicionador de ar do tipo janela (kVA);

g = Demanda referente a motores e máquinas de solda a motor (kVA);

h = Demanda Referente a Equipamentos Especiais (kVA);

i = Demanda referente a hidromassagem (kVA).

O cálculo de cada índice da equação de demanda se refere a um tipo de carga. Para cada grupo de carga é estabelecido valores para os fatores de potência e de demanda, dessa forma, pode-se calcular os índices através da equação abaixo.

$$X = \frac{P*FD}{FP} \quad (2)$$

Onde:

X = Termos da Equação 1 (a, b, c, d, e, f, g, h e i);

P = Potência instalada da carga em kW;

FP = Fator de potência;

FD = Fator de demanda.

Com base nos fatores de potência e de demanda estabelecidos pela RGE em tabelas anexadas ao GED 13, foi possível realizar o cálculo da demanda das instalações, conforme Quadro 9.

Quadro 9 – Cálculo de demanda para RGE

| Índice de Demanda | Descrição | Carga Instalada [W] | Fator de Demanda | Fator de Potência | Demanda [VA] |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------|
| A | Iluminação e Tomadas | 5.000 | 0,52 | 1 | 2.600 |
| B | Chuveiros e torneiras | 18.500 | 0,84 | 1 | 15.540 |
| C | Aquecedor central | - | - | - | - |
| D | Máquinas de Lavar | 1.000 | 0,70 | 1 | 700 |
| E | Fogão elétrico | - | - | - | - |
| F | Condicionador de Ar | 4.950 | 1,00 | 1 | 4.950 |
| G | Motores | - | - | - | - |
| H | Equipamentos carga \geq 1kW | - | - | - | - |
| I | Hidromassagem | - | - | - | - |
| Demanda Total [VA] | | | | | 23.790 |

Fonte: O Autor, 2023.

3.1.3 DIMENSIONAMENTO DO PADRÃO DE ENTRADA

De posse dos valores calculados para carga e demanda da instalação, pode-se realizar o dimensionamento do padrão de entrada através do anexo II do GED 13 (as tabelas 1A, 1B, 1C e 1D), que depende do nível de tensão de fornecimento e do tipo de condutor do ramal de entrada. A Figura 2 apresenta uma das tabelas de dimensionamento da RGE para o caso de tensão de fornecimento em 220/380V utilizando ramal de entrada em cobre com isolamento PVC.

Figura 2 – Dimensionamento padrão de entrada RGE 220/380V**Tabela 1 B**

| Dimensionamento em Tensão 220/380V – Ramal de Entrada Cobre PVC | | | | | | | | |
|---|---|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Fases | Monofásico | | | Bifásico | Trifásico | | | |
| Categoria | A3 | A4 | B3 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 |
| Carga Instalada (kW) | C ≤ 10 | 10 < C ≤ 15 | 15 < C ≤ 25 | 25 < C ≤ 75 | | | | |
| Demanda Total (kVA) | - | - | - | D ≤ 26 | 26 < D ≤ 40 | 40 < D ≤ 46 | 46 < D ≤ 66 | 66 < D ≤ 82 |
| Limitação motores (cv) | FN | 3 | 5 | 5 | 3 | 3 | 5 | 7,5 |
| | FF | - | - | 10 | 5 | 5 | 10 | 12 |
| | FFFN ⁽²⁾ | - | - | - | 20 | 30 | 30 | 40 |
| Ramal de Entrada Cabo Cu PVC mm ² BWF 70°C 750 V | 6 | 16 | 16 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 |
| Disjuntor (A) | 32 | 63 | 63 | 40 | 63 | 80 | 100 | 125 |
| Eletroduto (mm) | 32 | | 40 | | | | 50 | |
| Aterramento | Condutor mm ² | 6 | | | 10 | | | 16 |
| | Eletroduto (mm) | 20 | | | | | | |
| Poste Padrão com Caixa Incorporada | Poste padrão para medição direta | | | Poste padrão para medição direta | | | | Poste padrão medição indireta |
| Caixa de medição + Postinho | Policarbonato ou tipo II ⁽¹⁾ | | | Policarbonato ou tipo III | | | Tipo H | |
| Resistência mecânica poste DT ou FV | 90 daN | | | | | | 200 daN | |
| Poste Tubular de Aço (mm) | Circular 101,6 x 5,0 (diâmetro ext. x esp.) ou Quadrado 80 x 80 x 3 | | | | | | | |
| Pontaleta Tubular de Aço (mm) | 60,33 x 3,35 ou 80 x 80 x 3 (diâmetro externo x espessura) | | | | - | | | |
| Ramal de conexão (mínimo) | 10 mm ² Duplex | 16 mm ² Duplex | 16 mm ² Triplex | 10 mm ² Quadru-plex | 16 mm ² Quadru-plex | 25 mm ² Quadru-plex | 35 mm ² Quadru-plex | 35 mm ² Quadru-plex |

Fonte: GED 13, 2023.

O valor calculado para a carga da instalação se enquadra no sistema trifásico com carga superior a 25kW e inferior ou igual a 75kW. A demanda calculada se enquadra no menor ou igual a 26 kVA. Dessa forma, pode-se observar que os parâmetros de dimensionamento que se deve utilizar nessa instalação é o “C7”. O Quadro 10 apresenta o resumo do dimensionamento realizado a partir da Figura 2.

Quadro 10 – Parâmetros para o dimensionamento do padrão de entrada RGE

| Parâmetro | Fornecimento em 220/380V |
|---|------------------------------------|
| Categoria | C7 |
| Condutor Ramal de entrada, cobre PVC (mm ²) | 10 |
| Disjuntor (A) | 40 |
| Eletroduto entrada (mm) | 40 |
| Condutor de aterramento (mm ²) | 10 |
| Eletroduto de aterramento (mm) | 20 |
| Modelos de poste/caixa indicados | |
| Poste padrão (concreto armado) com caixa incorporada | Padrão com medição direta |
| Postes de concreto armado | Duplo T e circular |
| Poste de fibra de vidro | Quadrado e retangular |
| Poste tubular de aço galvanizado | Circular e quadrado |
| Caixa de medição | Policarbonato ou metálica tipo III |

Fonte: O Autor, 2023.

3.2 CÁCULOS EQUATORIAL – NT 001

3.2.1 DETERMINAÇÃO DA CARGA

A Equatorial, em seu regulamento, não estabelece critérios próprios para determinação da carga, somente informa que as instalações devem estar em concordância com o que é estabelecido na NBR 5410 e disponibiliza valores de potência para serem utilizados nos pontos de TUE's. Dessa forma, o cálculo de carga foi realizado a partir dos valores mínimos estabelecidos pela NBR 5410 para iluminação e TUG's; para as TUE's se utilizou os valores indicados pela NT 001. No Quadro 11, são apresentados os valores atribuídos para a instalação e a carga total.

Quadro 11 – Previsão de carga a partir da NT 001 Equatorial em BT

| Dependência | Ponto de Iluminação | | Pontos de Tomada – Uso Geral | | Pontos de tomada - Uso Específico | |
|---------------------------------------|---------------------|---------------|------------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| | Nºpontos | Pot.Total [W] | Nºpontos | Pot.Total [W] | Aparelho | Pot.Total [W] |
| Suíte | 2 | 160 | 4 | 400 | Ar condicionado | 900 |
| Quarto | 1 | 100 | 3 | 300 | Ar condicionado | 900 |
| Corredor | 1 | 100 | - | - | - | - |
| Banheiro 01 | 2 | 160 | 1 | 600 | Chuveiro | 7.500 |
| Banheiro 02 | 2 | 160 | 1 | 600 | Chuveiro | 7.500 |
| Escritório | 1 | 100 | 3 | 300 | Ar condicionado | 900 |
| Sala | 2 | 280 | 4 | 400 | Ar condicionado | 1.400 |
| Cozinha | 1 | 100 | 5 | 2.000 | Torneira Elétrica | 2.000 |
| Área de Serviço | 1 | 100 | 3 | 1.800 | Máquina de Lavar | 1.000 |
| Varanda | 3 | 180 | 1 | 600 | - | - |
| Total | 16 | 1.440 | 25 | 7.000 | - | 22.100 |
| Total de Previsão de Carga [W] | | | 30.540 | | | |

Fonte: O Autor, 2023.

3.2.2 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA

O cálculo de demanda utilizado pela Equatorial é realizado através de agrupamentos de cargas, no qual cada índice representa um tipo de carga e são definidos fatores de potência e de demanda para cada grupo. Abaixo segue a equação de demanda disponibilizada.

$$D = \frac{a}{FP} + b + \frac{c}{0,85} + \frac{d}{FP_c} + \frac{k \times e}{0,85} + f + g + h + i \quad (3)$$

Onde:

D = Demanda total da instalação em kVA;

a = Demanda das potências, em kW, para iluminação e tomadas de uso geral;

FP = Fator de potência da instalação de iluminação e tomada de uso geral;

b = Demanda de todos os aparelhos de aquecimento em kVA (chuveiro, aquecedores, fornos, assadeiras, fogões, etc.);

c = Demanda em kW de todos os aparelhos eletrodomésticos em geral (geladeiras, televisão, barbeador, som, etc.);

d = Demanda de todos os aparelhos de ar condicionado em kW;

FP_c = Fator de potência da instalação de aparelhos de ar condicionado;

e = Potência nominal dos motores das bombas d'água em kW;

$k = 1$ para uma bomba e $0,5$ para mais de uma bomba;

f = Demanda em kVA de outros motores e máquinas de solda e moto geradoras;

g = Demanda em kVA, das máquinas de solda a transformador;

h = Demanda em kVA, dos aparelhos de Raios-X;

i = Outras cargas não relacionadas em kVA. Neste caso o projetista deverá estipular o fator de demanda característico das mesmas.

Na NT 001, é informado os valores para os fatores de potência e de demanda referente aos índices da equação de demanda. A partir deles, foi calculado o valor de demanda da instalação, conforme o Quadro 12. Para essa instalação, somente os índices a , b , c e d contribuíram para a demanda.

Quadro 12 – Cálculo de demanda para Equatorial

| Índice de Demanda | Descrição | Carga Instalada [W] | Fator de Demanda | Fator de Potência | Demanda [VA] |
|---------------------------|-------------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------|
| a | Iluminação e Tomadas | 8.440 | 1 | 0,7 | 12.057 |
| b | Chuveiros | 15.000 | 0,65 | 1 | 9.750 |
| | Torneiras | 2.000 | 0,80 | 1 | 1.600 |
| c | Aparelhos eletrodomésticos em geral | 1.000 | 0,8 | 0,85 | 941 |
| d | Condicionador de Ar | 4.100 | 0,82 | 1 | 3.362 |
| e | Motores das bombas d'água | - | - | - | - |
| f | Outros motores e máquinas de solda | - | - | - | - |
| g | Máquinas de solda a transformador | - | - | - | - |
| h | Aparelhos de Raios-X | - | - | - | - |
| i | Outras cargas não relacionadas | - | - | - | - |
| Demanda Total [VA] | | | | | 27.710 |

Fonte: O Autor, 2023.

3.2.3 DIMENSIONAMENTO DO PADRÃO DE ENTRADA

O dimensionamento do padrão de entrada para clientes da Equatorial é realizado através do valor de carga das instalações, não sendo necessária a utilização da demanda calculada. A partir do valor de carga, calculado com base da NBR 5410, deve-se buscar o correto dimensionamento nas tabelas 1 e 2 presentes na NT 001. A Figura 3 apresenta uma das tabelas utilizadas para o dimensionamento do padrão de entrada para clientes com tensão de fornecimento em 220/380V.

Figura 3 – Dimensionamento padrão de entrada RGE 220/380V

| METODO DE CÁLCULO | TIPOS DE FORNECIMENTO | CARGA A kW | DISJUNTOR TERMO-MAGNÉTICO (A) | RAMAL DE LIGAÇÃO | | | | | DIÂMETRO NOMINAL Ø ELETRÓDUTO DE AÇO GALVANIZADO (pol.) | CONDUTOR COBRE ISOLADO MÍNIMO DO CLIENTE (fase/NEUTRO/terra) (mm²) | CONDUTOR DE ATERRAMENTO (AÇO CABEADU) (mm²) | DIÂMETRO NOMINAL Ø ELETRÓDUTO A TERRAMENTO (pol.) |
|-------------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|---|-------------------------------------|---|--|----------------|--|---|--|--|
| | | | | Distância até 2 km da orla marítima | | | Distância a partir de 2 km da orla marítima | | | | | |
| | | | | CABO DE COBRE CONCENTRICO OU DUPLEX (mm²) | CABO DE COBRE MULTIPLEXADO (mm²) | ELETRÓDUTO DE PVC COM PROTEÇÃO ANTILIV | CABO DE ALUMÍNIO MULTIPLEXADO (mm²) | | | | | |
| | | | | | | | DUPLEX/ CONCENTRI | QUADRUPL EX | | | | |
| CARGA INSTALADA | MONOFÁSICO | Até 4 | 25 (MONO) | 4 | - | | 10 | - | 3/4 | 4 | 4 | 1/2 |
| | | De 4 a 8 | 40 (MONO) | 6 | - | | 10 | - | 3/4 | 6 | 6 | 1/2 |
| | | De 8 a 12 | 60 ou 63 (MONO) | 10 | - | | 10 | - | 3/4 | 10 | 6 | 1/2 |
| CARGA INSTALADA | TRIFÁSICO | De 12 a 20 | 40 (TRI) | - | 6 | | - | 10 | 1.1/2 | 6 | 6 | 1/2 |
| | | De 20 a 30 | 60 ou 63 (TRI) | - | 10 | | - | 16 | 1.1/2 | 10 | 10 | 1 |
| | | De 30 a 40 | 80 (TRI) | - | 16 | | - | 25 | 2 | 16 | 16 | 1 |
| | | De 41 a 50 | 100 (TRI) | - | 25 | | - | 35 | 2 | 25 | 25 | 1 |
| | | De 50 a 75 | 125 (TRI) | - | 35 | | - | 50 | 2.1/2 | 35 | 35 | 1 |

Fonte: NT 001, 2023.

A partir das informações presentes na Figura 3, pode-se dimensionar o padrão de entrada para o valor da carga calculada para a instalação. No Quadro 13, são informados os parâmetros

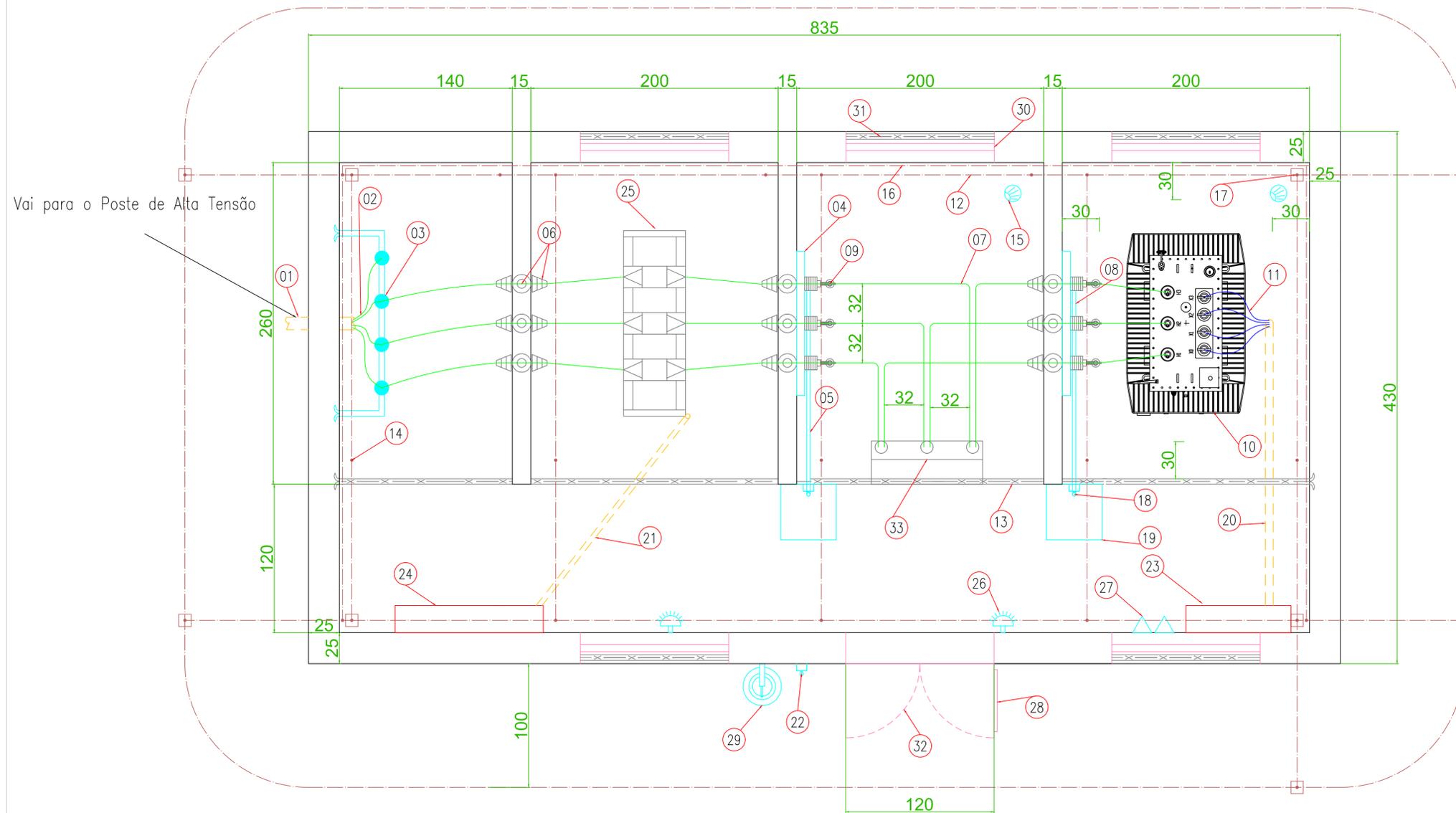
obtidos a partir da Figura 3 para a instalação projetada.

Quadro 13 – Parâmetros para o dimensionamento do padrão de entrada Equatorial

| Parâmetro | Fornecimento em 220/380V |
|--|--|
| Categoria | Trifásico |
| Condutor Ramal de entrada, alumínio mult. (mm ²) | 16 |
| Disjuntor (A) | 80 |
| Eletroduto entrada Aço Galvanizado (pol) | 2 (50,8 mm) |
| Condutor de aterramento (mm ²) | 16 |
| Eletroduto de aterramento (pol) | 1 (25,4 mm) |
| Modelos de poste/caixa indicados | |
| Postes de concreto armado | Seção quadrada, Duplo T, com caixa acoplada (5m ou 7m) |
| Acoplado em muros ou paredes | Consultar NT 001 |
| Caixa de medição | Polimérica ou metálica polifásicas |

Fonte: O Autor, 2023.

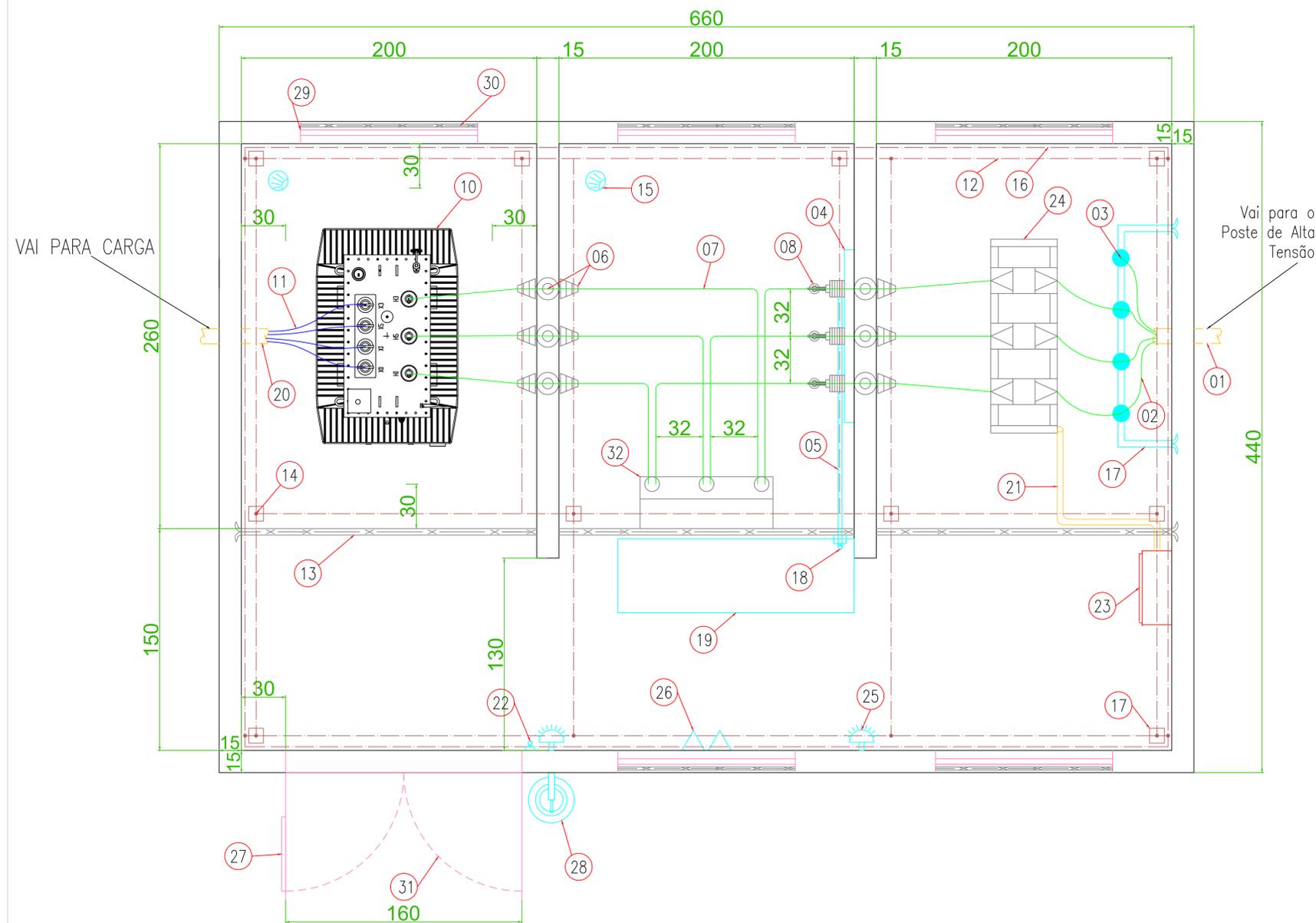
APÊNDICE C – PLANTA BAIXA SE 500KVA – RGE



LEGENDA

- 01-Eletroduto de PVC rígido, Ramal de entrada.
- 02-Cabo coberto, 70 mm² [1/0 AWG CA].
- 03-Terminal de porcelana p/ mufla.
- 04-Chave secc. tripolar tipo faca.
- 05-Haste de transmissão mecânica entre o punho e a chave seccionadora.
- 06-Isolador corrugado ou tipo pedestal.
- 07-Barramento de cobre em vergalhão, Ø 5,16 mm.
- 08-Chave seccionadora tripolar. abertura s/c, c/ porta fus. fixo e disp. p/ intertravamento.
- 09-Fusível limitador de corrente.
- 10-Transformador a óleo de força trifásico, 500KVA.
- 11-Cabos de cobre unipolares, 3x300 mm² p/fase + 1X300 mm², neutro, 0,6/1,0KV EPR ou XLPE.
- 12-Cabo de cobre nu, 50 mm².
- 13-Tela de proteção, arame de aço 12 BWG, malha máx 20x20mm.
- 14-Sistema de aterramento c/ hastes de aço revestido a cobre, 2,40m x 5/8 pol (16 mm), afast. mín de 3m.
- 15-Ralo p/ eventual escoamento de óleo.
- 16-Anel de aterramento com cabo de cobre nu, 35 mm²
- 17-Caixa de passagem embutida ou aparente, 10x10 cm, no piso.
- 18-Punho de acionamento p/ manobra da chave seccionadora.
- 19-Tapete de borracha 0,45x0,45m, isol. 40KV.
- 20-Eletrodutos de PVC rígido, 2.3/8 pol.
- 21-Eletrodutos de PVC rígido 1.1/2 pol., embutido no piso.
- 22-Interruptor
- 23-QGBT-Quadro Geral de Baixa Tensão.
- 24-Caixa p/ medição indireta de MT.
- 25-Armário de TC e TP do sistema de medição.
- 26-Luminária de parede p/ 150W incandescente ou lâmpada equivalente.
- 27-Conjunto de tomadas p/ manutenção interna.
- 28-Placa de advertência "PERIGO DE MORTE".
- 29-Extintor de incêndio p/ uso em eletricidade.
- 30-Janela tipo veneziana fixa, 1,50 x 1,00m.
- 31-Tela de proteção, arame de aço 18 BWG, malha máx 13x13mm.
- 32-Porta tipo duas folhas, abertura central, 2 x (0,60 x 2,10m).
- 33-Disjuntor pequeno volume de óleo

APÊNDICE D – PLANTA BAIXA SE 500KVA – EQUATORIAL



LEGENDA

- 01-Eletroduto de PVC rígido, Ramal de entrada.
- 02-Cabo coberto, 50 mm² [1/0 AWG CA].
- 03-Terminal de porcelana p/ mufla.
- 04-Chave secc. tripolar tipo faca.
- 05-Haste de transmissão mecânica entre o punho e a chave seccionadora.
- 06-Isolador corrugado ou tipo pedestal.
- 07-Barramento de cobre em vergalhão, Ø 6,35 mm.
- 08-Chave seccionadora tripolar. abertura s/c, c/ porta fus.[25K, 15K, 12K].
- 09-Fusível limitador de corrente.
- 10-Transformador a óleo de força trifásico, 500KVA.
- 11-Cabos de cobre unipolares, 3x300 mm² p/fase + 1X300 mm², neutro, 0,6/1,0KV EPR ou XLPE.
- 12-Cabo de cobre nú, 50 mm².
- 13-Tela de proteção, arame de aço 12 BWG, malha máx 20x20mm.
- 14-Sistema de aterramento c/ hastes de aço revestido a cobre, 2,40m x 5/8 pol (16 mm), afast. mín de 2,4m.
- 15-Ralo p/ eventual escamento de óleo.
- 16-Anel de aterramento com cabo de cobre nú, 35 mm² [aterramento nas ferragens da estrutura].
- 17-Caixa de passagem embutida ou aparente, 10x10 cm, no piso.
- 18-Punho de acionamento p/ manobra da chave seccionadora.
- 19-Tapete de borracha 1,60x0,50m, isol. 40KV.
- 20-Eletrodutos de PVC rígido, 2,3/8 pol.
- 21-Eletroduto de Aço Galvanizado 1.1/2" pesado, zincado por imersão a quente
- 22-Interruptor
- 23-Caixa p/ medição indireta de MT.
- 24-Armário de TC e TP do sistema de medição.
- 25-Luminária de parede [Iluminação NBR ISO/CIE 8995]
- 26-Conjunto de tomadas p/ manutenção interna.
- 27-Placa de advertência "PERIGO DE MORTE".
- 28-Extintor de incêndio p/ uso em eletricidade.
- 29-Janela tipo veneziana fixa, 1,50 x 1,00m.
- 30-Tela de proteção, arame de aço 18 BWG, malha máx 13x13mm.
- 31-Porta tipo duas folhas, abertura central, 2 x (0,80 x 2,10m).
- 32-Disjuntor pequeno volume de óleo

APÊNDICE E

MEMORIAL DE CÁLCULO - APLICAÇÃO EM MT SUBESTAÇÕES RGE E EQUATORIAL

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 CONSIDERAÇÕES GERAIS | 3 |
| 2 DISCRIMINAÇÕES TÉCNICAS | 3 |
| 2.1 CONCEPÇÃO DO PROJETO | 3 |
| 2.2 CARACTERÍSTICAS E REQUISITOS DA INSTALAÇÃO | 5 |
| 3 MEMÓRIA DE CÁLCULO | 5 |
| 3.1 CÁCULOS RGE - GED 2855 | 5 |
| 3.1.1 DETERMINAÇÃO DA CARGA | 5 |
| 3.1.2 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA | 7 |
| 3.1.3 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA | 8 |
| 3.1.4 DIMENSIONAMENTO DO TRANSFORMADOR | 9 |
| 3.1.5 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA SUBESTAÇÃO | 9 |
| 3.2 CÁCULOS EQUATORIAL – NT 002 | 12 |
| 3.2.1 DETERMINAÇÃO DA CARGA | 12 |
| 3.2.2 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA | 13 |
| 3.2.3 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA | 14 |
| 3.2.4 DIMENSIONAMENTO DO TRANSFORMADOR | 15 |
| 3.2.5 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA SUBESTAÇÃO | 15 |

1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente memorial de cálculo tem como objetivo apresentar os cálculos realizados para determinação de carga, de demanda e demais parâmetros utilizados para o dimensionamento do padrão de entrada de energia elétrica das concessionárias RGE e Equatorial para clientes de média tensão (MT). O dimensionamento de padrão entrada foi feito para uma casa de bombas que utiliza motores trifásicos para o seu acionamento. A carga total da instalação é superior ao limite de distribuição em baixa tensão, dessa forma, o cliente deverá ter suas instalações conectadas ao sistema de distribuição em média tensão.

2 DISCRIMINAÇÕES TÉCNICAS

2.1 CONCEPÇÃO DO PROJETO

Com o objetivo de realizar o dimensionamento de subestações (SE) a partir dos regulamentos técnicos da RGE e Equatorial, foi elaborado um perfil de carga que fosse superior a 300 kVA de forma que, em ambos os regulamentos estudados, fosse possível a utilização do modelo de subestação abrigado para atendimento da carga. O modelo de carga utilizado é referente a uma casa de bombas com quatro motores trifásicos de alta potência. Além disso, é previsto um motor para talha, dois circuitos de tomadas trifásicas e iluminação. Também é prevista a carga da SE para os circuitos de iluminação e tomada. Os dados de carga podem ser verificados no Quadro 1.

Quadro 1 – Perfil de carga

| Descrição | Quantidade | Potência [CV] | Potência [W] | Potência instalada [W] |
|------------------------|------------|---------------|------------------|------------------------|
| Bomba | 2 | 200 CV | 147.102 | 294.204,00 |
| Bomba | 2 | 150 CV | 110.327 | 220.653,00 |
| Talha | 1 | 2 CV | 1.471 | 1.471,02 |
| Iluminação | 4 | - | 100 | 400,00 |
| Tomada Trifásica | 2 | 2 CV | 1.471 | 2.942,04 |
| Iluminação SE abrigada | 2 | - | 100 | 200,00 |
| Tomada SE abrigada | 2 | - | 600 | 1.200,00 |
| | | | Total [W] | 521.070 |

Fonte: O Autor, 2023.

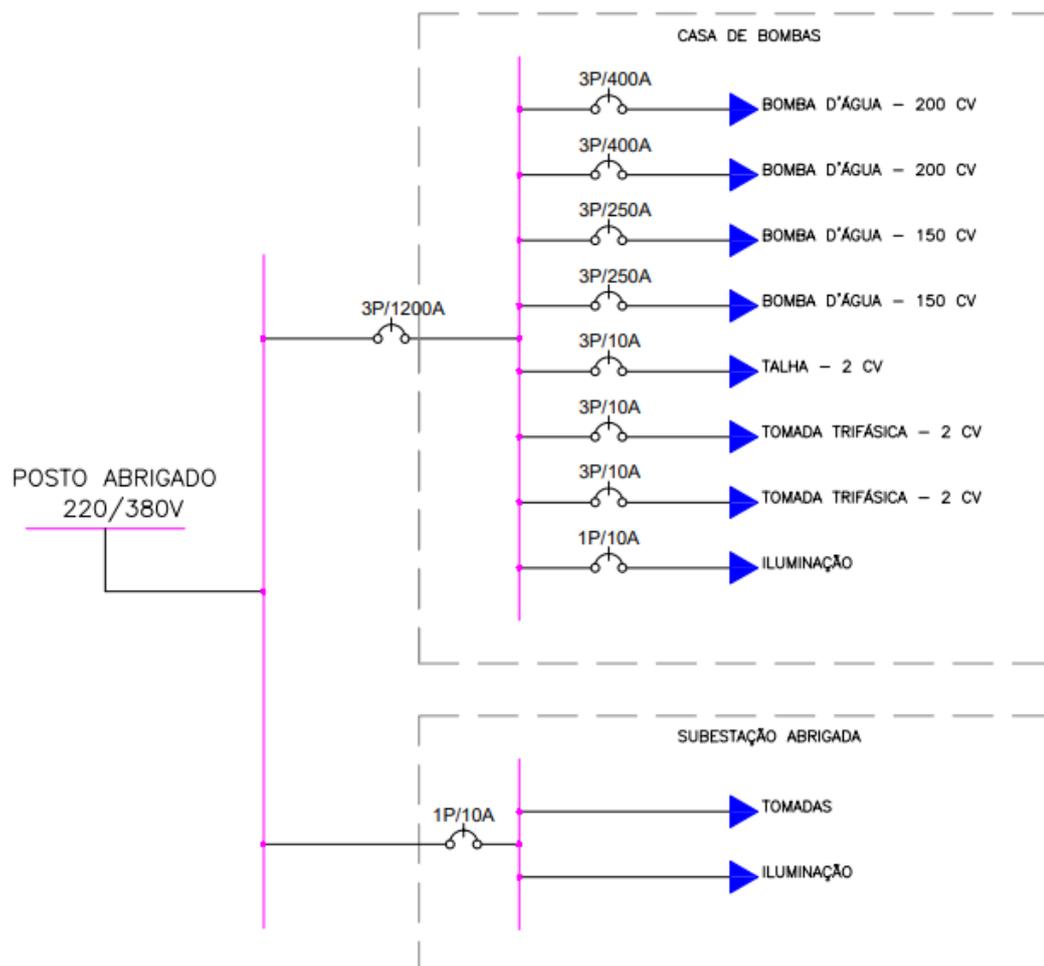
O dimensionamento dos disjuntores foi realizado considerando FP igual 0,92 (Quadro 2). Foi elaborada na Figura 1 o diagrama unifilar da carga utilizada para o dimensionamento do padrão de entrada das concessionárias.

Quadro 2 – Dimensionamento condutores e disjuntores

| Descrição | Pot. Inst. [W] | FP | Pot. Inst. [VA] | Tensão [V] | I _{nom} [A] | Cond. [mm ²] | Disj. [A] |
|-------------------------|----------------|------|-----------------|------------|----------------------|--------------------------|-----------|
| Bomba (200 CV) | 147.102,00 | 0,92 | 159.893,48 | 380 | 242,9330071 | 240 | 400 |
| Bomba (150 CV) | 110.327,00 | 0,92 | 119.920,65 | 380 | 182,2005811 | 120 | 250 |
| Talha (2 CV) | 1.471,02 | 0,92 | 1.598,93 | 380 | 2,429330071 | 2,5 | 10 |
| Iluminação | 400 | 0,92 | 434,78 | 220 | 1,141008437 | 1,5 | 10 |
| Tomada Trifásica (2 CV) | 1.471,02 | 0,92 | 1.598,93 | 380 | 2,429330071 | 2,5 | 10 |
| Iluminação SE abrigada | 200 | 0,92 | 1.521,74 | 220 | 3,99352953 | 2,5 | 10 |
| Tomada SE abrigada | 1200 | | | | | | |

Fonte: O Autor, 2023.

Figura 1 – Diagrama unifilar da carga da instalação



Fonte: O Autor, 2023.

Para ambas as concessionárias, o dimensionamento do padrão de entrada é determinado em função da carga e da demanda das instalações. Para obter acesso ao sistema de distribuição em média tensão, é necessário que os clientes estejam em acordo com os regulamentos da concessionária que o atende, sendo eles o GED 2855 e a NT 002 referente a RGE e a Equatorial respectivamente.

2.2 CARACTERÍSTICAS E REQUISITOS DA INSTALAÇÃO

O atendimento da carga e da demanda será realizado através de rede de distribuição de energia em média tensão, podendo variar entre 13,8 kV a 34,5 kV dependendo da região em qual a carga será instalada. O ramal de entrada será aéreo e em subestação no modelo abrigada, estando em conformidade com os critérios estabelecidos nos regulamentos técnicos de ambas as distribuidoras.

3 MEMÓRIA DE CÁLCULO

3.1 CÁLCULOS RGE - GED 2855

3.1.1 DETERMINAÇÃO DA CARGA

No GED 2855 e seus anexos, é disponibilizado, em tabelas, o valor de carga em *Watts* e fator de potência para motores elétricos trifásicos em função da sua potência em CV ou HP, conforme Figura 2.

Figura 2 – Motores trifásicos RGE**Tabela 16 - Motores Trifásicos 60Hz**

| POTÊNCIA NOMINAL CV OU HP | POTÊNCIA ABSORVIDA DA REDE | | CORRENTE A PLENA CARGA (A) | | CORRENTE DE PARTIDA (A) | | COSφ MÉDIO |
|---------------------------|----------------------------|--------|----------------------------|-------|-------------------------|--------|------------|
| | kW | kVA | 380V | 220V | 380V | 220V | |
| 1/3 | 0,39 | 0,65 | 0,98 | 1,7 | 4,1 | 7,1 | 0,61 |
| 1/2 | 0,58 | 0,87 | 1,3 | 2,3 | 5,8 | 9,9 | 0,66 |
| 3/4 | 0,83 | 1,26 | 1,9 | 3,3 | 9,4 | 16,3 | 0,66 |
| 1 | 1,05 | 1,52 | 2,3 | 4,0 | 11,9 | 20,7 | 0,69 |
| 1 1/2 | 1,54 | 2,17 | 3,3 | 5,7 | 19,1 | 33,1 | 0,71 |
| 2 | 1,95 | 2,70 | 4,1 | 7,1 | 25,0 | 44,3 | 0,72 |
| 3 | 2,95 | 4,04 | 6,1 | 10,6 | 38,0 | 65,9 | 0,73 |
| 4 | 3,72 | 5,03 | 7,6 | 13,2 | 43,0 | 74,4 | 0,74 |
| 5 | 4,51 | 6,02 | 9,1 | 15,8 | 57,1 | 98,9 | 0,75 |
| 7 1/2 | 6,57 | 8,65 | 12,7 | 22,7 | 90,7 | 157,1 | 0,76 |
| 10 | 8,89 | 11,54 | 17,5 | 30,3 | 116,1 | 201,1 | 0,77 |
| 12 1/2 | 10,85 | 14,09 | 21,3 | 37,0 | 156,0 | 270,5 | 0,77 |
| 15 | 12,82 | 16,65 | 25,2 | 43,7 | 196,6 | 340,6 | 0,77 |
| 20 | 17,01 | 22,10 | 33,5 | 58,0 | 243,7 | 422,1 | 0,77 |
| 25 | 20,92 | 25,83 | 39,1 | 67,8 | 275,7 | 477,6 | 0,81 |
| 30 | 25,03 | 30,52 | 46,2 | 80,1 | 326,7 | 566,0 | 0,82 |
| 40 | 33,38 | 39,74 | 60,2 | 104,3 | 414,0 | 717,3 | 0,84 |
| 50 | 40,93 | 48,73 | 73,8 | 127,9 | 528,5 | 915,5 | 0,84 |
| 60 | 49,42 | 58,15 | 88,1 | 152,6 | 632,6 | 1095,7 | 0,85 |
| 75 | 61,44 | 72,28 | 109,5 | 189,7 | 743,6 | 1288,0 | 0,85 |
| 100 | 81,23 | 95,56 | 144,8 | 250,8 | 934,7 | 1619,0 | 0,85 |
| 125 | 100,67 | 117,05 | 177,3 | 307,2 | 1162,7 | 2014,0 | 0,86 |
| 150 | 120,09 | 141,29 | 214,0 | 370,8 | 1455,9 | 2521,7 | 0,85 |
| 200 | 161,65 | 190,18 | 288,1 | 499,1 | 1996,4 | 3458,0 | 0,85 |

Fonte: GED 2856, 2023.

Para as demais cargas da instalação, deve ser informado os valores de carga respeitando os mínimos estabelecidos na NBR 5410. Dessa forma, pode-se encontrar os valores de carga para toda a instalação realizando a multiplicação das quantidades pelas cargas unitárias; após, realiza-se a soma das cargas instaladas. Sendo os resultados apresentados no Quadro 2.

Quadro 3 – Valores de carga para RGE

| Descrição | Quantidade | Carga unitária [W] | Carga Instalada [W] |
|-------------------------|------------|--------------------|---------------------|
| Bomba 200 CV | 1 | 161.650,00 | 161.650,00 |
| Bomba 200 CV | 1 | 161.650,00 | 161.650,00 |
| Bomba 150 CV | 1 | 120.090,00 | 120.090,00 |
| Bomba 150 CV | 1 | 120.090,00 | 120.090,00 |
| Talha 2 CV | 1 | 1.950,00 | 1.950,00 |
| Iluminação | 4 | 100,00 | 400,00 |
| Tomada Trifásica (2 CV) | 2 | 1.950,00 | 3.900,00 |
| Iluminação SE | 2 | 100,00 | 200,00 |
| Tomada SE | 2 | 600,00 | 1.200,00 |
| | | TOTAL | 571.130,00 |

Fonte: O Autor, 2023.

3.1.2 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA

Pelo fato de o ramo de atividade da instalação ser o de transformação, a RGE estabelece que devemos utilizar a equação abaixo para o cálculo da demanda em *Watts*.

$$P = C.I \times FD$$

Onde:

P = Demanda estimada em kW;

$C.I$ = Somatória da carga instalada em kW;

FD^* = Fator de demanda.

O fator de demanda deve ser fornecido pelo projetista; em virtude do projeto ser um modelo de aplicação, será utilizado como fator de demanda uma média ponderada dos fatores de demanda fornecidos pela RGE. A média ponderada pode ser calculada a partir da equação abaixo.

$$\bar{x}_p = \frac{p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + p_3 \cdot x_3 + \dots + p_n \cdot x_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n} = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

A RGE estabelece o fator de demanda de motores elétricos trifásicos, para tanto, deve-se atribuir 1 para o maior motor e 0,5 para os demais motores. Para iluminação e tomadas de uso geral, foi utilizado o fator de demanda 1, conforme estabelecido no GED para indústrias. No Quadro 3, são apresentados os valores calculados.

Quadro 4 – Valor de demanda RGE

| Descrição | Qtd. | Carga unitária [W] | Carga Instalada [W] | FD | Carga Instalada x FD [W] |
|---------------------|------|--------------------|---------------------|------|--------------------------|
| Bomba 200 CV | 1,00 | 161.650,00 | 161.650,00 | 1,00 | 161.650,00 |
| Bomba 200 CV | 1,00 | 161.650,00 | 161.650,00 | 0,50 | 80.825,00 |
| Bomba 150 CV | 1,00 | 120.090,00 | 120.090,00 | 0,50 | 60.045,00 |
| Bomba 150 CV | 1,00 | 120.090,00 | 120.090,00 | 0,50 | 60.045,00 |
| Talha 2 CV | 1,00 | 1.950,00 | 1.950,00 | 0,50 | 975,00 |
| Iluminação | 4,00 | 100,00 | 400,00 | 1,00 | 400,00 |
| Tom. Trifásica 2 CV | 2,00 | 1.950,00 | 3.900,00 | 0,50 | 1.950,00 |
| Iluminação SE | 2,00 | 100,00 | 200,00 | 1,00 | 200,00 |
| Tomada SE | 2,00 | 600,00 | 1.200,00 | 1,00 | 1.200,00 |
| | | | 571.130,00 | | 367.290,00 |

Fonte: O Autor, 2023.

Com os somatórios realizados, foi calculado o valor da média ponderada que será utilizado como fator de demanda da instalação, cálculo ilustrado abaixo.

$$FD_{méd} = \frac{\sum \text{carga instalada} * FD}{\sum \text{carga instalada}} = \frac{367.290}{571.130} = 0,643$$

Logo, ao aplicarmos o fator de demanda médio na equação fornecida pela RGE, teremos o valor obtido no cálculo de média ponderada:

$$P = C.I \times FD_{méd} = 571.130 * 0,643 = 367.290 [W]$$

3.1.3 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

O próximo passo foi realizar o cálculo do fator de potência médio da instalação através da equação abaixo.

$$FP_{méd} = \frac{\sum \text{Potências instaladas}}{\left(\sum \frac{\text{Potência individual}}{FP_{individual}} \right)}$$

Os fatores de potências individuais foram fornecidos no Quadro 4 junto com a carga em *Watts*; os fatores de potência para iluminação e tomadas de uso geral devem ser considerados, de acordo com o GED 2855, 0,5 para iluminação e 1 para tomadas.

Quadro 5 – Fator de potência médio da instalação

| Descrição | Potência Instalada [W] | FP | Potência instalada / FP [VA] |
|-------------------------|------------------------|------|------------------------------|
| Bomba 200 CV | 323.300,00 | 0,85 | 380.352,94 |
| Bomba 150 CV | 240.180,00 | 0,85 | 282.564,71 |
| Talha 2 CV | 1.950,00 | 0,72 | 2.708,33 |
| Iluminação | 400,00 | 0,50 | 800,00 |
| Tomada Trifásica (2 CV) | 3.900,00 | 0,72 | 5.416,67 |
| Iluminação SE | 200,00 | 0,50 | 400,00 |
| Tomada SE | 1.200,00 | 1,00 | 1.200,00 |
| TOTAL | 571.130,00 | | 673.442,65 |

Fonte: O Autor, 2023.

$$FP_{méd} = \frac{\sum Potências_instaladas}{\left(\sum \frac{Potência_individual}{FP_individual}\right)} = \frac{571.130}{673.442,65} = 0,848$$

Em virtude de o fator de potência estar com valor inferior ao limite mínimo estabelecido pela REN. 1.000 da ANEEL, que é de 0,92, deve-se estimar a potência em VAr dos capacitores para correção do fator de potência. Para tanto, utiliza-se a equação abaixo.

$$P_{capacitor}[kVAr] = D [kW] * k$$

Onde:

$P_{capacitor}$ = Potência do capacitor em kVAr;

D = Demanda da instalação em kW;

k = Constante tabelada no GED 2856, em função do valor de $FP_{méd}$.

Para o valor $FP_{méd}$ de 0,85, temos o $k = 0,194$

$$P_{capacitor}[kVAr] = D [kW] * k = 367,290 * 0,194 = 71,254 [kVAr]$$

3.1.4 DIMENSIONAMENTO DO TRANSFORMADOR

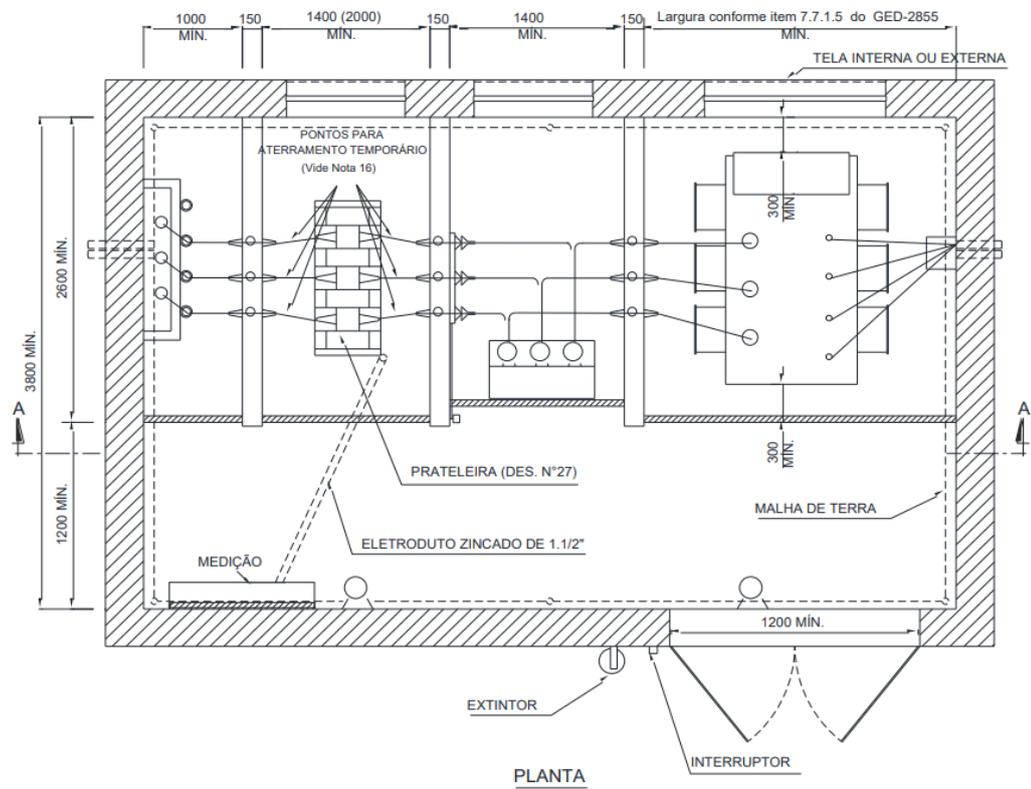
O dimensionamento do transformador é realizado a partir da demanda em kVA calculada para a instalação. Para isso, realiza-se a divisão da demanda em kW pelo fator de potência corrigido, que deve ser no mínimo 0,92 de acordo com a REN. 1.000 da ANEEL.

$$D_{total}[kVA] = \frac{D [kW]}{0,92} = \frac{367,290}{0,92} = 399,228 [kVA]$$

3.1.5 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA SUBESTAÇÃO

Com base na demanda calculada, pode-se determinar qual a potência do transformador que deverá ser utilizado para o atendimento da instalação; para o projeto desenvolvido será o de 500 kVA. A RGE, em seu regulamento GED 2855, recomenda aos seus clientes que tenham carga instalada superior a 300 kVA que utilizem, preferencialmente, o modelo de subestação (SE) abrigada em cubico de alvenaria ou concreto armado. É disponibilizado, no GED 2859, modelos de SE abrigadas padronizadas (Figura 3) que seus consumidores devem utilizar para obter o acesso ao sistema de distribuição.

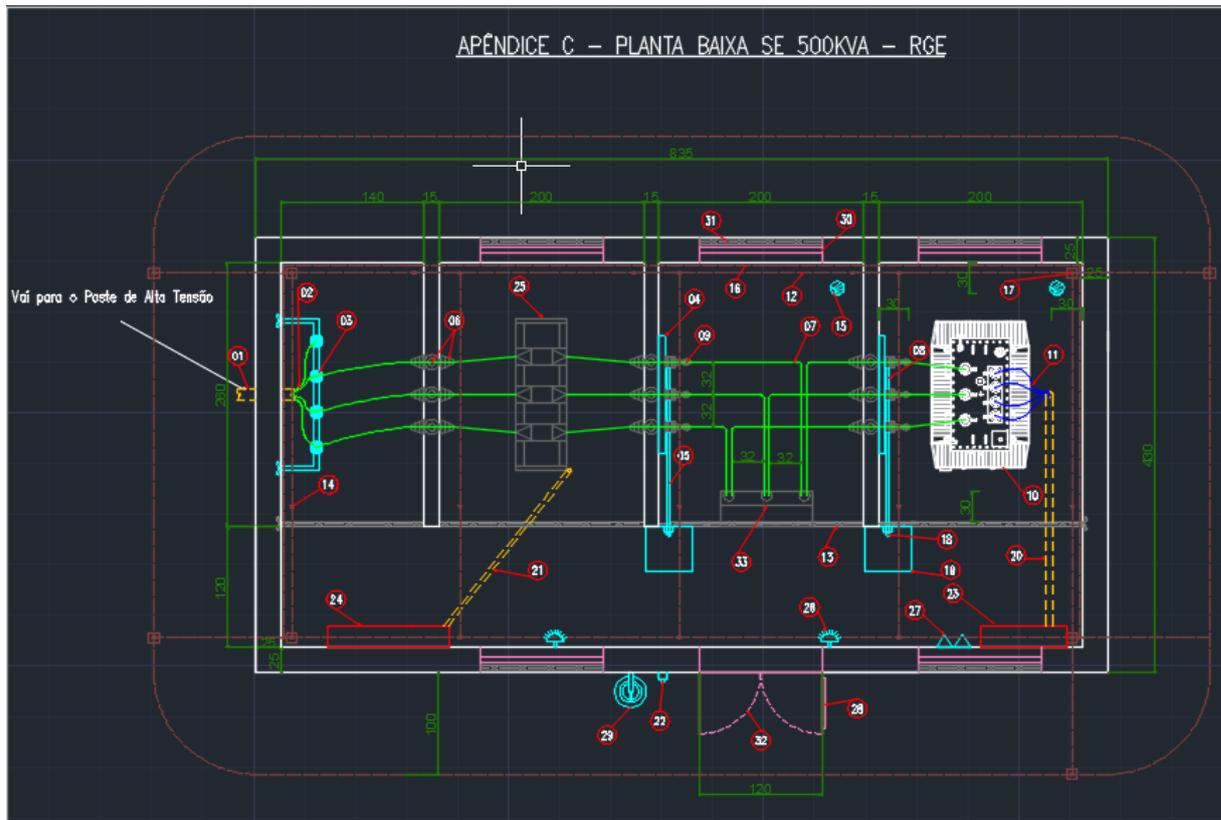
Figura 3 – Modelo de subestação RGE



Fonte: GED 2859, 2023.

Para tanto, foi elaborado o projeto de SE (Figura 4) em conformidade com as descrições informadas no regulamento da RGE para atendimento da carga referente à casa de bombas.

Figura 4 – Projeto de subestação abrigada RGE



Fonte: O Autor, 2023.

O regulamento da RGE também apresenta o dimensionamento de outros elementos presentes na subestação. No Quadro 5, são apresentados alguns equipamentos que foram previstos.

Quadro 6 – Dimensionamento dos elementos que compõe a SE RGE

| Descrição | Utilizado |
|--|--|
| Cabo do Ramal de Entrada | Cabo coberto, 70 mm ² [1/0 AWG CA]. |
| Barramento para classe de tensão primária | Barramento de cobre em vergalhão, Ø 5,16 mm, espaçamento de 32 cm. |
| Cabos de baixa tensão | Cabos de cobre unipolares, 3x300 mm ² p/fase + 1X300 mm ² , neutro, 0,6/1,0KV EPR ou XLPE. |
| Cabo para malha de Aterramento | Cabo de cobre nu, 50 mm ² . |
| Tela de proteção dos cubículos | Tela de proteção, arame de aço 12 BWG, malha máximo 20x20mm. |
| Haste para sistema de aterramento | Sistema de aterramento c/ hastes de aço revestido a cobre, 2,40m x 5/8 pol (16 mm), afastamento mínimo de 3m. |
| Cabo para Anel de aterramento no piso junto a parede | Anel de aterramento com cabo de cobre nu, 35 mm ² |

Fonte: O Autor, 2023.

3.2 CÁCULOS EQUATORIAL – NT 002

3.2.1 DETERMINAÇÃO DA CARGA

No regulamento da Equatorial, NT 002, é disponibilizado em tabelas o valor de carga em *Watts* e fator de potência para motores elétricos trifásicos em função da sua potência em CV ou HP, conforme Figura 5.

Figura 5 – Motores trifásicos Equatorial

TABELA 15 – MOTORES TRIFÁSICOS

| Potência Nominal (CV ou HP) | Potência Absorvida da Rede | | Corrente a Plena Carga (A) | | Corrente de Partida (A) | | COS _φ Médio |
|--------------------------------|----------------------------|--------|----------------------------|-------|-------------------------|--------|------------------------|
| | kW | KVA | 380 V | 220 V | 380 V | 220 V | |
| 1/3 | 0,39 | 0,65 | 0,98 | 1,7 | 4,1 | 7,1 | 0,61 |
| ½ | 0,58 | 0,87 | 1,3 | 2,3 | 5,8 | 9,9 | 0,66 |
| ¾ | 0,83 | 1,26 | 1,9 | 3,3 | 9,4 | 16,3 | 0,66 |
| 1 | 1,05 | 1,52 | 2,3 | 4,0 | 11,9 | 20,7 | 0,69 |
| 1 ½ | 1,54 | 2,17 | 3,3 | 5,7 | 19,1 | 33,1 | 0,71 |
| 2 | 1,95 | 2,70 | 4,1 | 7,1 | 25,0 | 44,3 | 0,72 |
| 3 | 2,95 | 4,04 | 6,1 | 10,6 | 38,0 | 65,9 | 0,73 |
| 4 | 3,72 | 5,03 | 7,6 | 13,2 | 43,0 | 74,4 | 0,74 |
| 5 | 4,51 | 6,02 | 9,1 | 15,8 | 57,1 | 98,9 | 0,75 |
| 7 ½ | 6,57 | 8,65 | 12,7 | 22,7 | 90,7 | 157,1 | 0,76 |
| 10 | 8,89 | 11,54 | 17,5 | 30,3 | 116,1 | 201,1 | 0,77 |
| 12 ½ | 10,85 | 14,09 | 21,3 | 37,0 | 156,0 | 270,5 | 0,77 |
| 15 | 12,82 | 16,65 | 25,2 | 43,7 | 196,6 | 340,6 | 0,77 |
| 20 | 17,01 | 22,10 | 33,5 | 58,0 | 243,7 | 422,1 | 0,77 |
| 25 | 20,92 | 25,83 | 39,1 | 67,8 | 275,7 | 477,6 | 0,81 |
| 30 | 25,03 | 30,52 | 46,2 | 80,1 | 326,7 | 566,0 | 0,82 |
| 40 | 33,38 | 39,74 | 60,2 | 104,3 | 414,0 | 717,3 | 0,84 |
| 50 | 40,93 | 48,73 | 73,8 | 127,9 | 528,5 | 915,5 | 0,84 |
| 60 | 49,42 | 58,15 | 88,1 | 152,6 | 632,6 | 1095,7 | 0,85 |
| 75 | 61,44 | 72,28 | 109,5 | 189,7 | 743,6 | 1288,0 | 0,85 |
| 100 | 81,23 | 95,56 | 144,8 | 250,8 | 934,7 | 1619,0 | 0,85 |
| 125 | 100,67 | 117,05 | 177,3 | 307,2 | 1162,7 | 2014,0 | 0,86 |
| 150 | 120,09 | 141,29 | 214,0 | 370,8 | 1455,9 | 2521,7 | 0,85 |
| 200 | 161,65 | 190,18 | 288,1 | 499,1 | 1996,4 | 3458,0 | 0,85 |

Fonte: NT 002, 2023.

Para as demais cargas da instalação, devem ser informados os valores de carga, respeitando os mínimos estabelecidos na NBR 5410. Dessa forma, pode-se encontrar os valores de carga para toda a instalação realizando a multiplicação das quantidades pelas cargas unitárias e, após, realiza-se a soma das cargas instaladas. O Quadro 6 apresentado o resumo das cargas

da instalação.

Quadro 7 – Valores de carga para Equatorial

| Descrição | Quantidade | Carga unitária [W] | Carga Instalada [W] |
|-------------------------|------------|--------------------|---------------------|
| Bomba 200 CV | 1 | 161.650,00 | 161.650,00 |
| Bomba 200 CV | 1 | 161.650,00 | 161.650,00 |
| Bomba 150 CV | 1 | 120.090,00 | 120.090,00 |
| Bomba 150 CV | 1 | 120.090,00 | 120.090,00 |
| Talha 2 CV | 1 | 1.950,00 | 1.950,00 |
| Iluminação | 4 | 100,00 | 400,00 |
| Tomada Trifásica (2 CV) | 2 | 1.950,00 | 3.900,00 |
| Iluminação SE | 2 | 100,00 | 200,00 |
| Tomada SE | 2 | 600,00 | 1.200,00 |
| | | TOTAL | 571.130,00 |

Fonte: O Autor, 2023.

3.2.2 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA

A Equatorial utiliza apenas uma forma de calcular a demanda, independente do ramo de atividade da instalação. Podemos encontrar a demanda em kVA através da equação abaixo, embora esse valor não seja o valor utilizado para o dimensionamento, pois será necessário realizar a correção do fator de potência.

$$D(kVA) = D_a(kVA) + D_b(kVA) + D_c(kVA) + D_d(kVA) + D_e(kVA)$$

Onde:

D = Demanda total da instalação em kVA;

D_a = Demanda referente a iluminação e tomadas (kVA);

D_b = Demanda referente a equipamentos de utilização específica (kVA);

D_c = Demanda referente a condicionadores de ar (kVA);

D_d = Demanda referente a motores elétricos (kVA);

D_e = Demanda referente a equipamentos especiais (kVA).

Para o cálculo da demanda, faz-se necessária a utilização das equações auxiliares abaixo.

$$Carga_{instalada} (VA) = \frac{Carga_{instalada} (W)}{FP_{individual}}$$

$$Demanda (W) = Carga_{instalada} (W) * FD_{individual}$$

$$Demanda (VA) = Carga_{instalada} (VA) * FD_{individual}$$

Onde:

$FP_{individual}$: Fator de potência individual;

$FD_{individual}$: Fator de demanda individual;

A Equatorial estabelece em seu regulamento os valores para fator de potência e demanda. No quadro 7, é apresentado um resumo dos dados fornecidos pela NT 002. A partir dessas informações, pode-se calcular os valores de demanda das instalações.

Quadro 8 – Valor de demanda Equatorial

| Descrição | Qtd. | Carga unitária [W] | Carga Instalada [W] | FP | Carga Inst./FP [VA] | FD | Demanda [W] | Demanda [VA] |
|-------------------------|------|--------------------|---------------------|------|---------------------|------|-------------------|-------------------|
| Bomba 200 CV | 1 | 161.650,00 | 161.650,00 | 0,85 | 190.176,47 | 1,00 | 161.650,00 | 190.176,47 |
| Bomba 200 CV | 1 | 161.650,00 | 161.650,00 | 0,85 | 190.176,47 | 0,70 | 113.155,00 | 133.123,53 |
| Bomba 150 CV | 1 | 120.090,00 | 120.090,00 | 0,85 | 141.282,35 | 0,70 | 84.063,00 | 98.897,65 |
| Bomba 150 CV | 1 | 120.090,00 | 120.090,00 | 0,85 | 141.282,35 | 0,70 | 84.063,00 | 98.897,65 |
| Talha 2 CV | 1 | 1.950,00 | 1.950,00 | 0,72 | 2.708,33 | 0,70 | 1.365,00 | 1.895,83 |
| Iluminação | 4 | 100,00 | 400,00 | 0,92 | 434,78 | 0,70 | 280,00 | 304,35 |
| Tomada Trifásica (2 CV) | 2 | 1.950,00 | 3.900,00 | 0,72 | 5.416,67 | 0,70 | 2.730,00 | 3.791,67 |
| Iluminação SE | 2 | 100,00 | 200,00 | 0,92 | 217,39 | 0,70 | 140,00 | 152,17 |
| Tomada SE | 2 | 600,00 | 1.200,00 | 1,00 | 1.200,00 | 0,70 | 840,00 | 840,00 |
| TOTAL | | | 571.130,00 | | 672.894,82 | | 448.286,00 | 528.079,32 |

Fonte: O Autor, 2023.

3.2.3 CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

O próximo passo foi realizar o cálculo do fator de potência médio da instalação através da equação abaixo.

$$FP_{méd} = \frac{\sum Potências_{instaladas}}{\left(\sum \frac{Potencia_{invidual}}{FP_{individual}}\right)}$$

$$FP_{méd} = \frac{\sum Potências_{instaladas}}{\left(\sum \frac{Potencia_{invidual}}{FP_{individual}}\right)} = \frac{571.130}{672.894,82} = 0,848$$

Em virtude de o fator de potência estar com valor inferior ao limite mínimo estabelecido pela REN. 1.000 da ANEEL, deve-se estimar a potência em VAr de capacitores para correção do fator de potência. Para tanto, utiliza-se a equação abaixo.

$$P_{capacitor}[kVAr] = D [kW] * k$$

Onde:

$P_{capacitor}$ = Potência do capacitor em kVAr;

D = Demanda da instalação em kW;

k = Constante tabelada na NT. 002, em função do valor de $FP_{méd}$.

Para o valor $FP_{méd}$ de 0,85, temos o $k = 0,194$

$$P_{capacitor}[kVAr] = D [kW] * k = 448,286 * 0,194 = 86,967 [kVAr]$$

3.2.4 DIMENSIONAMENTO DO TRANSFORMADOR

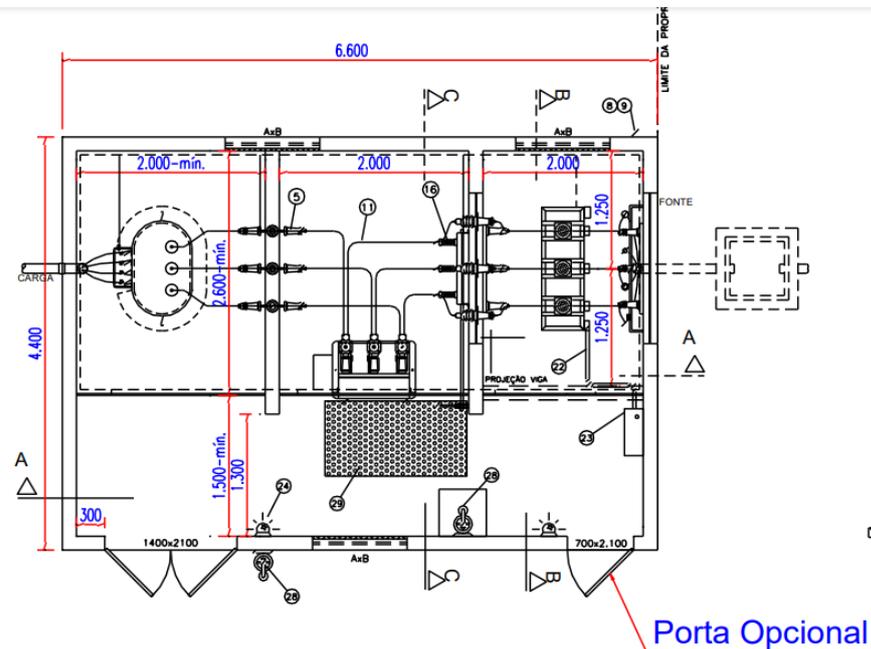
O dimensionamento do transformador é realizado a partir da demanda em kVA calculada para a instalação. Para isso, é preciso realizar a divisão da demanda em kW pelo fator de potência corrigido, valor mínimo de 0,92, de acordo com a REN. 1.000 da ANEEL.

$$D_{total}[kVA] = \frac{D [kW]}{0,92} = \frac{448,286}{0,92} = 487,267 [kVA]$$

3.2.5 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA SUBESTAÇÃO

Com base na demanda calculada, pode-se determinar a potência do transformador que deverá ser utilizado para o atendimento da instalação que, para esse caso, é o de 500 kVA. A Equatorial disponibiliza modelos de subestações abrigadas (Figura 6) que seus clientes devem utilizar para a construção do padrão de entrada.

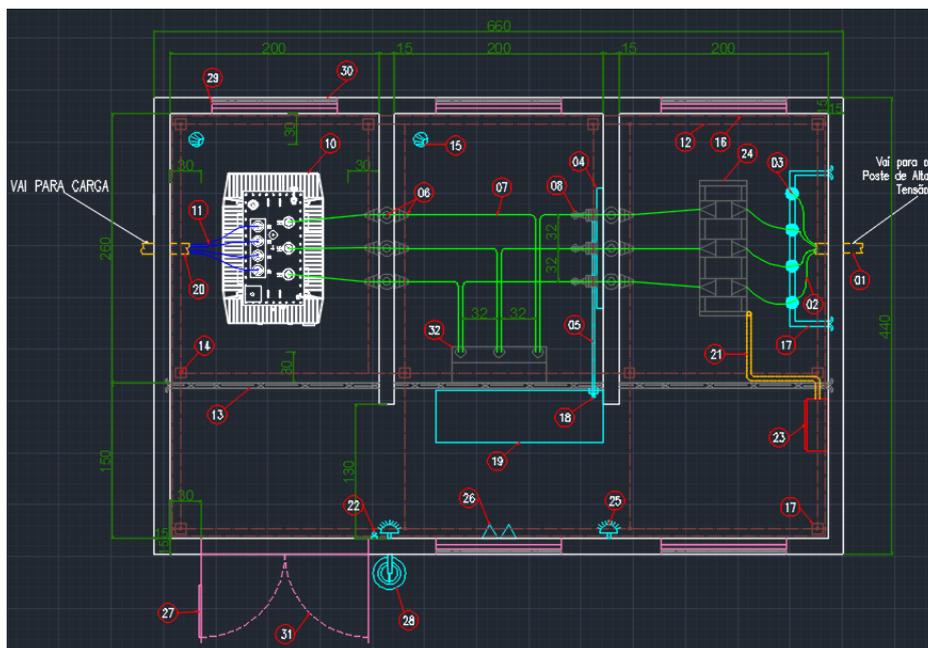
Figura 6 – Modelo de subestação RGE



Fonte: NT 002, 2023.

O modelo disponibilizado na NT 002 foi utilizado para elaboração da planta da subestação projetada que é apresentada na Figura 7.

Figura 7 – Projeto de subestação abrigada Equatorial



Fonte: O Autor, 2023.

Por meio do regulamento da Equatorial, pode-se dimensionar outros elementos que fazem parte da subestação que irá atender a carga da casa de máquinas. O Quadro 8 apresenta

alguns dos itens dimensionados com base na NT 002.

Quadro 9 – Dimensionamento dos elementos que compõe a SE Equatorial

| Descrição | Utilizado |
|---|--|
| Cabo do Ramal de Entrada | Cabo coberto, 50 mm ² [1/0 AWG CA]. |
| Barramento para classe de tensão primária | Barramento de cobre em vergalhão, Ø 6,35 mm, espaçamento de 32 cm. |
| Elos fusíveis para instalação | Chave seccionadora tripolar. abertura s/c, c/ porta fusíveis 25K, 15K e 12K, para tensões de 13,8 kV, 23,1kV e 34,5 kV, respectivamente. |
| Cabo para malha de Aterramento | Cabo de cobre nu, 50 mm ² . |
| Tela de proteção dos cubículos | Tela de proteção, arame de aço 12 BWG, malha máximo 20x20mm. |
| Haste para sistema de aterramento | Sistema de aterramento c/ hastes de aço revestido a cobre, 2,40m x 5/8 pol (16 mm), afastamento mínimo de 2,40m. |

Fonte: O Autor, 2023.

APÊNDICE F – DIAGRAMA UNIFILAR SE DE 500 kV (RGE E EQUATORIAL) E CARGA MT

