



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JÉSSICA MEDEIROS DO NASCIMENTO

**DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DOS CONDUTORES DE UMA
INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE BAIXA TENSÃO- ESTUDO DE CASO**

CARAÚBAS-RN

2014

JÉSSICA MEDEIROS DO NASCIMENTO

**DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DOS CONDUTORES DE UMA
INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE BAIXA TENSÃO- ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), como requisito final para obtenção
do título de bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Msc. Antônio Alisson
Alencar Freitas-(UFERSA)

Coorientador: Prof. Msc. Paulo Henrique
Araujo Bezerra-(UFERSA)

CARAÚBAS-RN

2014

O Conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Campus Caraúbas (BCC)

N244d Nascimento, Jéssica Medeiros do.

Dimensionamento econômico dos condutores de uma instalação elétrica de baixa tensão - estudo de caso / Jéssica Medeiros do Nascimento -- Caraúbas, 2014.
56f. : il.

Orientador: Prof. Msc. Antônio Alisson Alencar Freitas
Co-orientador: Prof. Msc. Paulo Henrique Araujo Bezerra

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) –
Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de
Graduação.

- Condutores elétricos. 2. Dimensionamento econômico.
- 3. Eficiência energética. I. Título.

RN/UFERSA/BCC

CDD:620.11297

Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB-15/700

JÉSSICA MEDEIROS DO NASCIMENTO

**DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DOS CONDUTORES DE UMA
INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE BAIXA TENSÃO – ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como exigência final para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Antônio Alisson Alencar Freitas – UFERSA.

APROVADO EM 06/08/2014

BANCA EXAMINADORA



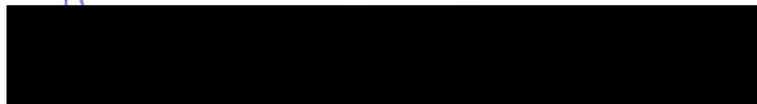
Ms. Antônio Alisson Alencar Freitas

Orientador



Ms. Paulo Henrique Araújo Bezerra

Examinador



Dr. Max Chianca Pimentel Filho

Examinador



Ms. Fabiano da Costa Dantas

Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por seu imenso amor, que me deu força e coragem, iluminando o meu caminho durante toda essa longa caminhada.

Ao meu pai Francisco Cesar por todo o esforço que fez para me ajudar e me manter na universidade, e que apesar dos problemas, sempre esteve ao meu lado, me dando muito amor, educação e sabedoria.

A minha mãe Joana Domitília (*in memoriam*), por tudo de maravilhoso que me proporcionou aqui na terra, e que de onde está continua iluminando os meus passos esperando o grande dia da minha vitória.

Aos meus amados irmãos Jamilla Medeiros e César Filho, que sempre torceram por mim, estando sempre ao meu lado, e é com eles que compartilho os melhores momentos da minha vida.

A todos os meus familiares que sempre acreditaram em mim, e me apoiaram durante toda essa caminhada, em especial a minha tia, Maria Antônia (Nina) e minha prima Luana Nascimento, que estiveram sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis, e que muito me apoiaram e me ajudaram durante toda essa caminhada.

Ao meu orientador Antônio Alisson, primeiramente por aceitar me orientar, e por toda amizade, paciência, compreensão, apoio e dedicação durante toda a elaboração deste trabalho.

Ao meu co-orientador Paulo Henrique, por toda ajuda, colaboração e incentivo no decorrer da elaboração deste trabalho.

As minhas melhores amigas e companheiras, Angélica Soares, Cristina Fernandes, Domilene Nascimento, Glória Maria, Kerolaynny Brenda, Larissa Fernandes, Larissa Martins, Laiane Nascimento, Marcia Silva, Priscila Bandeira, Rosecleide Maia, Thaís Costa e Tereza Sobral, com quem compartilhei ótimos momentos e que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado.

Aos meus amigos, Anderson Millano Dário Silva, Enilson Costa, José Gilmar, Giovaninny Duarte, Luiz Rodrigues, Lucas Bacatela, Lucas Lessa, Lucas Barbosa, Layon Acacias, Luiz Eduardo, Luiz Freitas, por todos os momentos compartilhados, por toda ajuda, e por terem agüentado todo o meu estresse em período de provas.

Aos colegas da universidade com quem passo a maior parte do tempo, e que juntos crescemos cada vez mais ao longo dessa jornada.

A todos os professores da UFERSA, que com certeza foram os mais importantes para a minha formação acadêmica.

A minha mãe Joana Domitília (*in memorian*),
que não teve a oportunidade de presenciar a
realização desse sonho, mas tenho certeza que
me ajudou, apoiou e torce de onde ela está,
para que eu tenha sucesso nessa nova jornada

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

O presente trabalho tem a finalidade de realizar um dimensionamento econômico seguindo a NBR 15920:2011 e efetuar um comparativo com o método de dimensionamento técnico pela NBR 5410:2004. Ao realizar um dimensionamento técnico de condutores elétricos de acordo com a NBR 5410:2004, observa-se que a seção do condutor obtida será a menor possível que não comprometa a qualidade da instalação, porém, quanto menor a seção do cabo maior será a resistência a passagem da corrente elétrica gerando assim, uma maior dissipação de energia em forma de calor (perdas joule), diminuindo a eficiência da instalação elétrica projetada além de aumentar a emissão de CO₂ na atmosfera devido a necessidade da geração elétrica adicional. Já a NBR 15920:2011 realiza um dimensionamento com o objetivo de trazer benefícios ao meio ambiente, como a diminuição de emissão de CO₂ na atmosfera, bem como melhorar a eficiência energética das instalações elétricas. Para a realização deste projeto foi elaborado um programa no Excel, e com o auxílio do mesmo, foram dimensionados os cabos de 25, 35 e 70 mm² do prédio administrativo da UFERSA Caraúbas. Dos resultados obtidos, observou-se que será mais vantajoso tanto economicamente quanto ambientalmente, utilizar os cabos resultantes do dimensionamento econômico.

PALAVRAS-CHAVE: Dimensionamento econômico. Eficiência energética. Construções verdes.

ABSTRACT

The present work aims to conduct an economic sizing following the NBR 15920:2011 and make a comparison with the method of sizing the technical by NBR 5410:2004. When performing a technical sizing electrical conductors according to NBR 5410:2004, it is observed that the section of the conductor is obtained the lowest possible that will not compromise the quality of the installation, but, the lower section of the cable will be greater resistance the passage of electric current so generating greater energy dissipation as heat (Joule losses), decreasing the efficiency of the electrical installation designed addition to increasing CO₂ in the atmosphere due to the need for additional power generation. Have NBR 15920:2011 performs a sizing with the goal of bringing environmental benefits such as reduced CO₂ emissions in the atmosphere as well as improve the energy efficiency of facilities electrical. For the realization of this project was to create a program in Excel, and with the aid of it, the cables sizing of 25, 35 and 70 mm² of UFERSA Caraúbas administrative building were scaled. From the results obtained, it was observed to be more beneficial both economically and environmentally, use the cable resulting from the economic sizing.

KEY-WORDS: Economic sizing. Energy efficiency. Green buildings.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 – Gráfico do custo inicial e custo operacional dos cabos em função da seção nominal	30
---	----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Fio condutor elétrico	23
Figura 2.2 – Cabo condutor elétrico	23
Figura 2.3 – Fio ou cabo elétrico de potência de baixa tensão	23
Figura 2.4 – Cabo sem cobertura	24
Figura 2.5 – Cabo com cobertura	24
Figura 4.1 – Prédio Administrativo da UFERSA Caraúbas.....	32
Figura 4.2 – Temperaturas características dos condutores	36
Figura 4.3 – Pesos de cabo de cobre	42
Figura 5.1 – Dados de Entrada Para o Cabo de 25mm ²	43
Figura 5.2 – Constantes Utilizada como Parâmetro de Análise	44
Figura 5.3 – Parâmetros Iniciais para o Cálculo do dimensionamento econômico.....	44
Figura 5.4 – Escolha da seção econômica de acordo com o menor custo	45
Figura 5.5 – Escolha da seção econômica comparando o custo da seção técnica com o custo da econômica	46
Figura 5.6 – Escolha da seção pelo dimensionamento ambiental	46
Figura 5.7 – Resultado Final Escolhido para o Projeto.....	47
Figura 5.8 – Dados de Entrada Para o Cabo de 35mm ²	49
Figura 5.9 – Constantes Utilizada como Parâmetro de Análise.....	50
Figura 5.10 – Parâmetros Iniciais para o Cálculo do dimensionamento econômico.....	50
Figura 5.11 – Escolha da seção econômica de acordo com o menor custo	51
Figura 5.12 – Escolha da seção econômica comparando o custo da seção técnica com o custo da econômica	51
Figura 5.13 – Escolha da seção pelo dimensionamento ambiental	52
Figura 5.14 – Resultado Final Escolhido para o Projeto.....	52
Figura 5.15 – Dados de Entrada Para o Cabo de 70mm ²	55
Figura 5.16 – Constantes Utilizada como Parâmetro de Análise.....	56
Figura 5.17 – Parâmetros Iniciais para o Cálculo do dimensionamento econômico	56
Figura 5.18 – Escolha da seção econômica de acordo com o menor custo	57
Figura 5.19 – Escolha da seção econômica comparando o custo da seção técnica com o custo da econômica	57
Figura 5.20 – Escolha da seção pelo dimensionamento ambiental	58

Figura 5.21 – Resultado Final Escolhido para o Projeto.....	58
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Inflação anual no Brasil nos últimos 6 anos	33
Tabela 4.2 – Rendimento anual da caderneta de poupança nos últimos 6 anos	34
Tabela 4.3 – Determinação de A	37
Tabela 4.4 – Resistividade elétrica do material condutor	37
Tabela 4.5 – Coeficiente de temperatura para resistência do condutor a 20 °C	38
Tabela 4.6 – Custo inicial	39
Tabela 5.1 – Dimensionamento do cabo de 25 mm ²	47
Tabela 5.2 – Ganho Ambiental Obtido pela Redução da Emissão de CO ₂	48
Tabela 5.3 – Dimensionamento do cabo de 35 mm ²	53
Tabela 5.4 – Ganho Ambiental Obtido pela Redução da Emissão de CO ₂	54
Tabela 5.5 – Dimensionamento do cabo de 70 mm ²	59
Tabela 5.6 – Ganho Ambiental Obtido pela Redução da Emissão de CO ₂	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1. CONSTRUÇÕES VERDES OU SUSTENTÁVEIS	20
2.1.1. Sistema de Certificação	21
2.1.2. Instalação Elétrica de uma Construção Sustentável	21
2.2. CONDUTORES ELÉTRICOS DE POTÊNCIA DE BAIXA TENSÃO.....	22
2.2.1. Definições.....	22
2.2.2. Perdas Joules nos Condutores	25
2.3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	26
2.4. NBR 5410 e NBR 15920.....	26
2.4.1. NBR 5410	26
2.4.2. NBR 15920	27
2.4.3. Aspectos Econômicos	30
3. OBJETIVOS	31
3.1. GERAL.....	31
3.2. ESPECÍFICOS	32
4. METODOLOGIA- ESTUDO DE CASO	32
4.1. QUANTIDADE AUXILIAR (r)	33
4.2. QUANTIDADE AUXILIA (Q)	34
4.3. QUANTIDADE AUXILIAR (F)	34
4.4. QUANTIDADE AUXILIAR (B).....	35
4.5. CÁLCULO DA SEÇÃO ECONÔMICA PELA NBR 15920.....	35
4.5.1. Temperatura Média de Operação do Condutor (Θ_m)	35
4.5.2. Corrente Máxima do Projeto	36
4.5.3. Custo Por Unidade de Comprimento Conforme a Seção do Condutor.....	36

4.5.4. Resistividade Elétrica do Material Condutor a 20°C (P₂₀)	37
4.5.5. Coeficiente de Temperatura para a Resistência do Condutor a 20°C (A₂₀).....	38
4.5.6. Seção Econômica pela NBR 15920:2011	38
4.6. CUSTO TOTAL DAS SEÇÕES ECONÔMICAS ADQUIRIDAS NO PRIMEIRO CÁLCULO	39
4.7. CUSTO TOTAL DA SEÇÃO TÉCNICA	40
4.8. DIMENSIONAMENTO AMBIENTAL.....	40
4.8.1. Redução da Emissão de Co₂ na Geração de Energia Pelo Aumento da Seção (Z₁)	40
4.8.2. Aumento da Emissão de Co₂ na Fabricação de Condutores Pelo Aumento da Seção (Z₂)	41
5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS	42
5.1. DIMENSIONAMENTO DO CABO DE 25mm².....	43
5.1.1. Zona 1	43
5.1.2. Zona 2	44
5.1.3. Considerações Finais	47
5.1.4. Período de Retorno do Investimento.....	47
5.1.5. Análise Ambiental.....	48
5.2. DIMENSIONAMENTO DO CABO DE 35mm².....	48
5.2.1. Zona 1	49
5.2.2. Zona 2	49
5.2.3. Considerações Finais	52
5.2.4. Período de Retorno do Investimento.....	53
5.2.5. Análise Ambiental.....	53
5.3. DIMENSIONAMENTO DO CABO DE 70mm².....	54
5.3.1. Zona 1	54
5.3.2. Zona 2	55
5.3.3. Considerações Finais	58
5.3.4. Período de Retorno do Investimento.....	59

5.3.5. Análise Ambiental.....	59
6. CONCLUSÃO GERAL	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

A construção civil possui uma grande influência na economia do país, já que é um ramo que gera muito emprego e hoje, com os grandes avanços tecnológicos e a quantidade de eventos que vão ocorrer no Brasil, o número de construções vem aumentando, e como a questão ambiental tem se tornado um quesito importante para o setor, gradativamente tem ocupado espaço nas prioridades das construtoras, sendo de suma importância buscar meios para sua preservação (NEGALLI *et al.* 2014).

“As construções verdes ou sustentáveis são aquelas que visam alterar o mínimo possível o meio ambiente, usando novas técnicas e materiais para que a obra seja parte da natureza que a cerca, e não tomando parte dela” (SANTOS, 2010). Já existe no mercado sistemas de certificação que verifica se uma dada obra é sustentável ou não. A certificação energética, por exemplo, é um meio de obter informações sobre o desempenho energético dos edifícios, bem como buscar medidas para melhorar a eficiência energética das instalações (ADENE, 2014).

A energia elétrica que utilizamos é oriunda principalmente de recursos naturais. As termelétricas, por exemplo, são instalações industriais utilizadas para gerar energia elétrica a partir da energia liberada em forma de calor por meio da combustão de algum tipo de combustível renovável ou não.

A matriz energética brasileira é predominantemente hidráulica, por isso quanto menor for o uso eficiente de energia elétrica, maior será a quantidade de água utilizada na sua geração. O Brasil possui várias regiões que sofrem com falta de chuva, logo o racionamento de água é necessário, já que a mesma é um bem essencial para o planeta, e por isso é necessário preservá-la.

O uso racional de energia traz algumas vantagens como a redução na construção de novas hidrelétricas, evitando impactos ambientais, redução do racionamento de energia (conhecidos apagões), que afeta o fornecimento e distribuição de energia, como também diminuição de custos na conta de energia no final do mês.

Atualmente em unidades consumidoras o elevado valor por perdas joules é resolvido aumentando-se a seção do condutor elétrico. Essa seção quando sobre dimensionada, além de causar o aumento nos custos iniciais do projeto pode elevar a emissão de CO₂ na atmosfera devido ao processo de fabricação do cabo. Dessa forma, utiliza-se a NBR 15920 para redimensionar os cabos, buscando uma maneira de reverter este problema.

Em edificações sustentáveis, as instalações elétricas são regidas pela NBR 15920 que visa realizar um dimensionamento econômico de condutores elétricos, de forma que este redimensionamento traga aspectos positivos como a redução de perdas joule gerando uma economia de energia, bem como a diminuição de emissão de CO₂ na atmosfera o que contribui para amenizar o efeito estufa (MORENO, 2013).

O presente trabalho visa realizar um dimensionamento econômico dos condutores de uma instalação elétrica de baixa tensão segundo a NBR 15920:2011, com o objetivo de obter um ponto ótimo entre custo e eficiência.

No capítulo 2 será realizado um estudo geral sobre o trabalho, serão apresentados conceitos, maneiras de se obter uma construção sustentável, a importância da eficiência energética, bem como todos os parâmetros e equacionamentos para se executar um dimensionamento de condutores seguindo a NBR 5410:2004 e NBR 15920:2011.

No capítulo 3 será apresentado o objetivo geral que deverá ser obtido, como também os objetivos específicos.

No capítulo 4 será descrito todo o processo metodológico, como obtenção das variáveis, consultas de tabelas, aplicação nas equações, ou seja, todo o passo-a passo para se obter a seção econômica e técnica dos cabos dimensionados, utilizando como exemplo inicial o dimensionamento do cabo de 70mm².

No capítulo 5 serão apresentados os resultados calculados pelo programa feito no Excel, com base nos equacionamentos descritos no capítulo 2. Todo o programa funciona como descrito no capítulo 4. Os dados serão inseridos no programa obtendo-se assim todos os resultados.

No capítulo 6, por fim, serão apresentadas as conclusões finais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. CONSTRUÇÕES VERDES OU SUSTENTÁVEIS

A construção verde é uma abordagem que leva em consideração principalmente a questão ambiental, visando criar estruturas que se preocupa com todo o seu ciclo de vida, ou seja, desde a eficiência da utilização desses materiais, até a disposição dos resíduos resultantes da construção.

O Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica (IDHEA), afirma que o conceito de Construção Sustentável baseia-se em desenvolver projetos utilizando a moderna tecnologia, e que atendam as necessidades da população, porém visando propor soluções para os grandes problemas ambientais de hoje.

Para se chegar a uma construção sustentável, existem nove passos principais de acordo com o IDHEA, que podem ser listados da seguinte maneira:

- Planejamento sustentável da obra;
- Aproveitamento passivo dos recursos naturais;
- Eficiência energética;
- Gestão e economia da água;
- Gestão dos resíduos na edificação;
- Qualidade do ar e do ambiente interior;
- Conforto termo acústico;
- Uso racional de materiais;
- Uso de produtos e tecnologias ambientalmente amigáveis.

“Tornar uma edificação sustentável demanda adoção de novos critérios, revisão de procedimentos, substituição de insumos, capacitação de mão de obra, reestruturação de equipe, entre outros aspectos” (NEGALLI;TEIXEIRA;OKRASKA,s.d). Toda esta modificação significa aumento dos custos, que influenciam diretamente no valor final do produto. Apesar de possuir um custo maior, Toledo *et al.*(2011) mostram que os cidadãos estão dispostos a pagar mais caro por imóveis sustentáveis.

Em 2011 iniciou-se o desenvolvimento dos requisitos para residências sustentáveis, devido a crescente demanda do mercado da construção civil e de alguns proprietários que

procuravam o *Green Bulding*, para saber quais os melhores materiais e métodos utilizados para construir uma casa sustentável (MORENO, 2012).

2.1.1. Sistema de Certificação

“A ONG *Green Building Council Brasil*, é uma das principais organizações que fomenta a indústria de construções sustentáveis no país” (MORENO, 2012), e segundo o instituto carbono Brasil, optou por disseminar no mercado um sistema de certificação que avalia se uma dada obra é sustentável ou não, como por exemplo, a norte- americana LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) que é um tipo de certificação estrangeira. Este sistema de classificação já existe em todo o mundo, mas segundo o IDHEA ainda nenhum genuinamente brasileiro.

É importante não apenas construir sustentavelmente, mas também comprovar que a obra de fato segue tais pressupostos. Trata-se de uma garantia para o cliente, para o mercado e uma maneira de se propagar com credibilidade e critérios o conceito de Construção Sustentável. (IDHEA).

A construção sustentável vem, portanto, tentando incentivar toda uma cadeia produtiva a modificar seus processos, buscando um foco mais ecológico, a fim de mudar o quadro de degradação ambiental, bem como a preservação dos recursos naturais para a utilização das gerações vindouras.

2.1.2. Instalação Elétrica de uma Construção Sustentável

A *Green Building Council Brasil*, no mês de setembro de 2012, apresentou o Referencial GBC Brasil Casa, que cria um referencial específico para residências sustentáveis. Este referencial apresenta em seus documentos a norma de instalações elétricas de baixa tensão NBR 5410, bem como a NBR 15920 que trata do dimensionamento econômico e ambiental de condutores elétricos, por isso esta certificação traz vantagens para o setor elétrico.

Para atingir o objetivo, a GBC propõe em seu referencial que as instalações atendam aos seguintes requisitos:

- Projeto de instalações elétricas de baixa tensão: mesmo que exigido pela legislação competente, todas as habitações unifamiliares ou multifamiliares, abrangendo todas as categorias de padrão construtivo, deverão possuir, obrigatoriamente, um projeto específico de instalações elétricas de baixa tensão, elaborado por um profissional devidamente registrado no órgão competente;
- Certificação técnica de instalação elétrica: recomenda-se que todas as habitações unifamiliares ou multifamiliares, abrangendo todas as categorias de padrão construtivo, apresentem, ao final das obras, um certificado técnico de instalações elétricas emitidas por um órgão/entidade de terceira parte, garantindo, assim, que as instalações elétricas foram executadas seguindo as normas técnicas vigentes;
- Materiais e componentes aplicados nas instalações elétricas: os materiais e componentes utilizados nas instalações elétricas (fios, cabos, disjuntores, componentes, acessórios, etc.) devem ser normatizados e dimensionados, atendendo às normas técnicas de produto e de instalação, emitidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 15920), com o objetivo de reduzir a queda de tensão e perda de energia na operação.

Esse documento, portanto, fala sobre a Qualidade das Instalações Elétricas de Baixa Tensão, visando construir uma edificação de forma eficaz, duradoura e eficiente do ponto de vista energético, e tem como objetivo garantir a segurança do consumidor e patrimonial (GBC BRASIL, 2012).

2.2. CONDUTORES ELÉTRICOS DE POTÊNCIA DE BAIXA TENSÃO

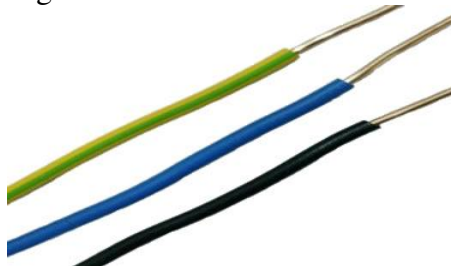
2.2.1. Definições

Um fio ou um cabo condutor elétrico tem a finalidade de transportar energia elétrica de um ponto para outro de um circuito. Para a maioria das instalações esses fios e cabos são feitos de cobre, pois é um metal com excelentes características condutas de eletricidade, podendo também ser feitos de alumínio, porém o uso do alumínio é bastante reduzido, pois

devido as suas características mecânicas necessitam de maiores cuidados na sua manipulação (MAMEDE FILHO, 2007).

Um condutor é formado por um só fio, de forma cilíndrica como mostra a Figura 2.1, e devido a sua rigidez possui facilidade de partir se for dobrado várias vezes.

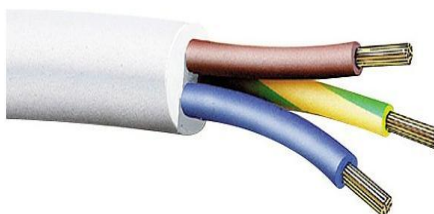
Figura 2.1 – Fio condutor elétrico.



Fonte: TECNOLOGIA DO GLOBO (2009)

Já um cabo é formado por um conjunto de fios, entrelaçados uns nos outros como na Figura 2.2, e suportam muitas dobragens por ser flexível.

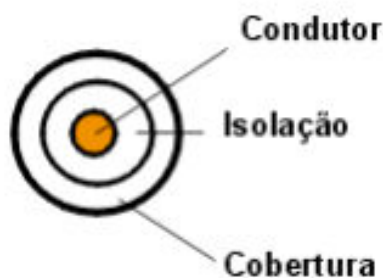
Figura 2.2 – Cabo condutor elétrico.



Fonte: TECNOLOGIA DO GLOBO (2009)

Os principais componentes de um fio ou cabo de potência de baixa tensão são a isolamento, o condutor e a cobertura, conforme indicado na Figura 2.3:

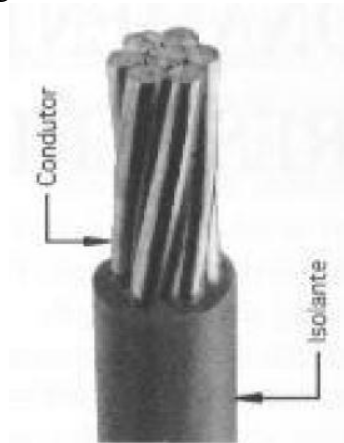
Figura 2.3 – Fio ou cabo elétrico de potência de baixa tensão.



Fonte: (IPCE)

Alguns cabos elétricos podem ser compostos apenas de condutor e isolação como na Figura 2.4, chamados de condutores isolados.

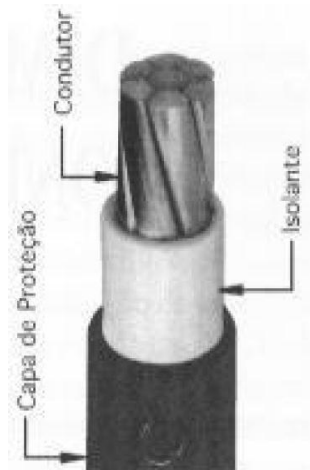
Figura 2.4 – Cabo sem cobertura.



Fonte: (MAMEDE FILHO, 2007, 7 ed.)

Enquanto que outros podem também possuir uma cobertura, indicado na Figura 2.5, (aplicada sobre a isolação, com a função de proteção contra agentes externos), chamados de cabos unipolares ou multipolares, dependendo do número de condutores que possuem.

Figura 2.5 – Cabo com cobertura.



Fonte: (MAMEDE FILHO, 2007, 7 ed.)

A função da isolação é confinar o campo elétrico gerado pela tensão aplicada ao condutor no seu interior, e os principais isolantes utilizados são o Policloreto de vinila (PVC), e a

Borracha sintética (EPR). Com isso, é reduzido ou eliminado o risco de choque elétrico e curto-circuito (IPCE, s.d).

2.2.2. Perdas Joules nos Condutores

As perdas por efeito joule são provocadas quando ocorre o aquecimento dos condutores devido a passagem de corrente elétrica (COPEL, Companhia Paranaense de eletricidade, 2005). Quanto maior for a resistência, maior será a perda de energia, podendo ser comprovado pela equação (2.1):

$$E = R * I_{\max}^2 * \Delta_T \quad (2.1)$$

Onde,

E- energia dissipada no condutor [Wh];

R – resistência elétrica do condutor [Ω];

$I_{\max}$ – corrente de projeto máxima prevista para o circuito [A];

Δ_T – intervalo de tempo de circulação da corrente [h].

A segunda lei de Ohm apresentada a seguir pela equação (2.2) mostra como calcular a resistência elétrica de um fio:

$$R = \frac{\rho * L}{S} \quad (2.2)$$

Onde,

R – resistência do fio [Ω];

ρ – condutividade do cobre [$\Omega.m$];

L – comprimento dos condutores [m];

S – seção transversal dos condutores [m²].

A partir da equação (2.2) pode-se observar que a resistência a passagem de corrente é proporcional ao comprimento, ou seja, quanto maior o comprimento do cabo maior será a

perda de energia, e inversamente proporcional a seção do condutor, isso explica o fato de que os condutores com menores seções dificultam a passagem da corrente elétrica comprometendo a eficiência da instalação, e contribuindo para o aumento de emissões de CO₂ na atmosfera, já os condutores de maiores seções garantem mais eficiência as instalações, como também contribuem para a redução de emissão de gases no efeito estufa.

2.3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O uso não racional de energia elétrica pode culminar em crises, pois quanto menos eficiente for seu uso, maior será a quantidade de energia gerada necessária para suprir a demanda do país. O aumento dessa geração ocasiona impactos ao meio ambiente, como por exemplo, a geração hidráulica que para suprir a demanda utiliza uma parte do seu reservatório sem necessidade.

Diante dessas situações, as sociedades começaram a tomar consciência de que era necessário buscar meios de conter os desperdícios de energia.

Vale ressaltar que independente da forma que a energia é gerada, seja ela, hidráulica, a óleo, entre outras formas, agride o meio ambiente, assim faz-se necessário preservar os recursos naturais disponíveis, bem como melhorar a eficiência dos aparelhos consumidores, a fim de diminuir essa agressão ao meio ambiente.

2.4. NBR 5410 e NBR 15920

2.4.1. NBR 5410

Segundo a ABNT (2004), a NBR 5410 estabelece as condições que garanta o funcionamento adequado das instalações de baixa tensão, assegurando o conforto das pessoas e a conservação dos bens. Esta norma aplica-se principalmente às instalações elétricas de edificações, qualquer que seja seu uso (residencial, comercial, público, industrial, de serviços, agropecuário, hortigranjeiro, etc.), incluindo as pré-fabricadas.

Quando em operação, devido à sua resistência ôhmica, os condutores elétricos aquecem (efeito joule) e dissipam uma parte da energia transportada, de modo que essa perda resulta na geração de uma energia adicional que contribuirá para o acréscimo da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, notadamente o dióxido de carbono (CO₂). (NEXANS,2013).

De acordo com a NEXANS (2013), para realiza-se um dimensionamento técnico de um condutor elétrico é necessário seguir as prescrições da NBR 5410 que considera os seguintes critérios:

- Seção nominal mínima do condutor;
- Capacidade de condução de corrente do condutor em regime permanente.
- Queda de tensão no condutor;
- Proteção do condutor contra sobrecarga;
- Proteção do condutor contra curto-circuito.

Independente de qual critério prevalece no dimensionamento técnico, o objetivo é sempre obter a maior seção nominal possível, e esse valor é considerado o mínimo necessário para que não comprometa a segurança, a qualidade e a durabilidade da instalação elétrica. No entanto quanto menor for a seção do condutor, maior será a emissão de gases na atmosfera, devido a perda de energia (joule) no circuito (NEXANS, 2013).

Estudos comprovam que a maioria da emissão de gases na atmosfera são produzidas quando os condutores estão em operação, pois devido as perdas joules nos condutores se faz necessário a geração extra de energia, e essas emissões servem para compensar a perda joule nos condutores, já na fabricação e descarte desses produtos as emissões são relativamente pequenas (PROCOBRE,2011).

2.4.2. NBR 15920

O Instituto Brasileiro do Cobre (PROCOBRE) junto à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) liderou uma comissão de estudos com o objetivo de criar uma nova norma brasileira, que associa o dimensionamento de condutores elétricos das edificações à economia de energia e redução das emissões de CO₂ na atmosfera. Trata-se da NBR 15920:2011, aplicável em todas as instalações de baixa e média tensão e também para as redes de transmissão e distribuição de energia.

A norma realiza um redimensionamento da seção (diâmetro) do cabo elétrico, a fim de obter uma seção maior, que promova menos perda de energia, reduzindo assim o consumo e, por consequência, o preço da conta de luz, além de diminuir a emissão de gases na atmosfera.

“A NBR 15920 faz uma análise técnica e econômico, indicando os métodos para realizar os cálculos das seções otimizadas em relação ao aumento da eficiência energética da instalação e o retorno dos investimentos para atingir os resultados” (MORENO, 2013). A redução total nas emissões de gases na atmosfera, se dá quando ocorre melhoria na eficiência energética.

As equações (2.3) a (2.10) mostram os parâmetros para o dimensionamento, de acordo com a NBR 15920, (PROCOBRE, 2011):

$$r = \frac{\left(1 + \frac{a}{100}\right)^2 * \left(1 + \frac{b}{100}\right)}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)} \quad (2.3)$$

Onde,

r - quantidade auxiliar;

a - aumento anual de carga: Quando cargas não previstas são adicionadas na instalação ao longo do tempo [%];

b - aumento anual do custo da energia: Variação na tarifa de cobrança de energia [%];

i - taxa de capitalização para o cálculo do valor presente: valor dos juros de capitalização [%].

$$Q = \sum_{i=1}^N r^{i-1} = \frac{1 - r^N}{1 - r} \quad (2.4)$$

Onde,

Q - quantidade auxiliar;

N - período coberto pelo cálculo financeiro, também referido como “vida econômica” [ano].

Vale ressaltar que a equação da quantidade auxiliar Q pode ser encontrada utilizando o equacionamento da progressão geométrica finita, onde a razão da progressão é a quantidade auxiliar r.

$$F = N_p * N_c * (T * P + D) * \frac{Q}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)} \quad (2.5)$$

Onde,

F - quantidade auxiliar;

N_p - número de condutores de fase por circuito;

N_c - número de circuitos que levam o mesmo tipo e valor de carga;

T - tempo de operação com perda joule máxima [h/ano];

P - custo de um watt-hora no nível da tensão pertinente [R\$/W.h];

D - variação anual de demanda [R\$/W.ano].

$$B = (1 + y_p + y_s) * (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \quad (2.6)$$

Onde,

B - quantidade auxiliar;

y_p - fator de proximidade, conforme IEC 60281-1-1;

y_s - fator devido ao efeito pelicular, conforme IEC 60287-1-1;

λ_1 - fator de perda de cobertura, conforme IEC 60287-1-1;

λ_2 - fator de perda de armação, conforme IEC 60287-1-1.

$$\theta_m = \left(\frac{\theta - \theta_a}{3}\right) + \theta_a \quad (2.7)$$

Onde,

θ_m - temperatura média de operação do condutor [°C];

θ - temperatura máxima nominal do condutor, para o tipo de cabo considerado [°C];

θ_a - temperatura ambiente média [°C].

$$Sec = 1000 * \left[\frac{I_{\max}^2 * F * \rho_{20} * B * [1 + \alpha_{20} * (\theta_m - 20)]}{A} \right]^{0,5} \quad (2.8)$$

Onde,

S_{ec} - seção econômica do condutor [mm^2];

$I_{\max}$ - corrente de projeto máxima prevista para o circuito no primeiro ano, [A];

ρ_{20} - resistividade elétrica do material condutor a 20°C [Ωm];

α_{20} - coeficiente de temperatura para a resistência do condutor a 20°C [K^{-1}];

A - componente variável do custo por unidade de comprimento conforme seção do condutor [$\text{R}\$/\text{m}.\text{mm}^2$].

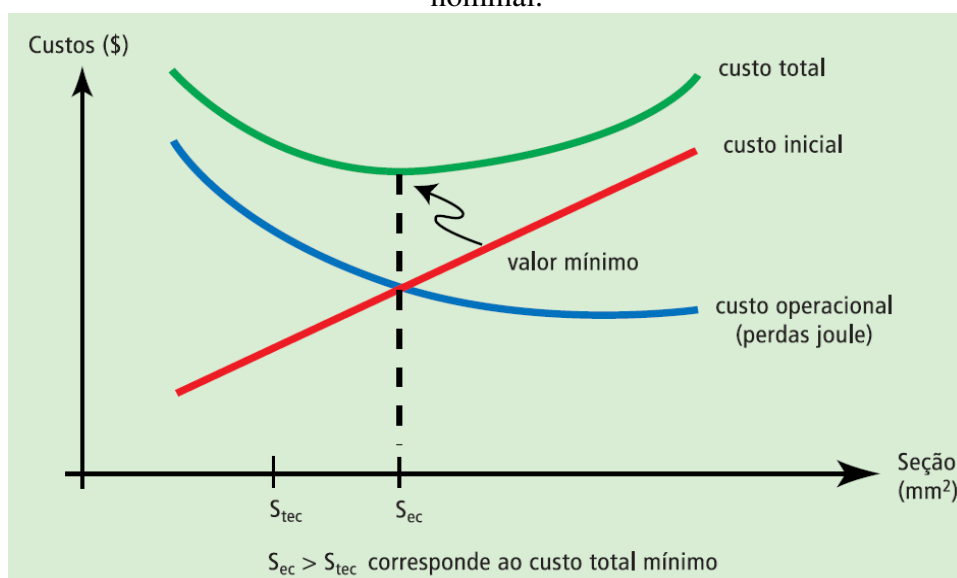
Após realizar os cálculos, escolhe-se a seção do condutor que apresente maiores benefícios para a instalação elétrica.

2.4.3. Aspectos Econômicos

Segundo a NBR 15920, para combinar os custos iniciais de compra e instalação com os custos de perda de energia que surgem durante a vida econômica de um condutor elétrico, é necessário expressá-los em valores econômicos comparáveis, que são os valores que se referem ao mesmo ponto no tempo.

Sabe-se que quanto menor for uma seção nominal de um condutor, menor será seu custo inicial de aquisição e instalação, enquanto que o custo operacional durante a vida útil será maior, conforme o Gráfico 2.1:

Gráfico 2.1 – Gráfico do custo inicial e custo operacional dos cabos em função da seção nominal.



Fonte: POCOBRE, 2011.

De acordo com a NBR 15920, o custo total pode ser calculado pela equação (2.9):

$$CT = CI + I_{\max}^2 * R * L * F \quad (2.9)$$

Onde,

CT - custo total;

CI - custo inicial de um comprimento de cabo instalado, [R\$];

$I_{\max}$ - carga máxima no cabo durante o primeiro ano [A];

L - comprimento do cabo [m];

F - quantidade auxiliar calculada na equação (3);

R - resistência aparente do condutor por unidade de comprimento, calculado pela equação (2.10):

$$R_{(s)} = \frac{\rho_{20} * B * [1 + \alpha_{20} * (\theta_m - 20)]}{S} * 10^6 \quad (2.10)$$

“A seção econômica (S_{ec}) de um circuito, é aquela que resulta no menor custo total de instalação e operação de um condutor elétrico durante sua vida econômica considerada” (NEXANS,2013)

Vale salientar que existem duas maneiras de realizar o dimensionamento econômico, a primeira mais utilizada quando várias instalações estão sendo consideradas, e a segunda que será a abordada neste trabalho por ter somente uma instalação envolvida, tornando-se mais direta na maioria das situações (PROCOBRE, 2011).

3. OBJETIVOS

3.1. GERAL

O presente trabalho visa determinar um ponto de equilíbrio entre eficiência e custo, no dimensionamento de condutores elétricos de uma instalação de baixa tensão, seguindo a NBR 15920.

3.2. ESPECÍFICOS

- Analisar o projeto elétrico do prédio administrativo da UFERSA Caraúbas;
- Levantar os quantitativos de condutores elétricos;
- Estimativa de custo por seção;
- Realizar o dimensionamento conforme a NBR 15920 e NBR 5410;
- Calcular os custos de cada seção;
- Escolher a seção econômica para o projeto.

4. METODOLOGIA- ESTUDO DE CASO

Para a elaboração desse trabalho foi solicitado inicialmente, o projeto elétrico do prédio administrativo da UFERSA Caraúbas (Figura 4.1), e em seguida foi selecionado os cabos de diferentes seções para realizar o dimensionamento econômico seguindo a NBR15920:2011.

Figura 4.1 – Prédio Administrativo da UFERSA Caraúbas



Fonte: Autora

Para calcular o dimensionamento pela NBR 15920, foi necessário criar um programa no Excel. Todo o programa foi elaborado baseado nas equações apresentadas pelo Procobre,

que após vários estudos, em 2011, publicou um manual onde mostra todos os parâmetros para realizar um dimensionamento econômico e ambiental de condutores elétricos.

Os cabos dimensionados serão os de 25, 35 e 70mm². Não foi incluído o cabo de 50mm² por não ter no orçamento do prédio. Os tópicos a seguir irão apresentar a metodologia de cálculo, usando como exemplo, o estudo do cabo de 70mm².

4.1. QUANTIDADE AUXILIAR (r)

O coeficiente r está relacionado com:

- O aumento anual da carga “a” - tendo em vista que o prédio ainda não se encontra em funcionamento, e não foi possível realizar um acompanhamento da instalação por um período de tempo, foi estimado um aumento de 1%;
- Aumento anual do custo de energia “b” - será considerado a média anual da inflação nominal ao longo dos últimos 6 anos, a média obtida a partir da tabela 4.1 foi de 5,64%.

Tabela 4.1 – Inflação anual no Brasil nos últimos 6 anos	
ANO	INFLAÇÃO (%)
2008	5,68
2009	4,89
2010	5,04
2011	6,50
2012	5,84
2013	5,91

Fonte: Adaptado de FGV/IBRE (2014, p.3)

- Taxa de capitalização “i” - será obtida a partir de uma média dos valores presentes na tabela 4.2, a média obtida foi de 7,0%.

Tabela 4.2 - Rendimento anual da caderneta de poupança nos últimos 6 anos.

ANO	RENDIMENTO (%)
2008	7,74
2009	7,09
2010	6,80
2011	7,50
2012	6,57
2013	6,31

Fonte: Adaptado de http://www.portalbrasil.net/poupanca_mensal.htm

Aplicando-se a equação (2.3) temos:

$$r = \frac{\left(1 + \frac{1}{100}\right)^2 * \left(1 + \frac{5,64}{100}\right)}{\left(1 + \frac{7,0}{100}\right)} = 1,007$$

4.2. QUANTIDADE AUXILIA (Q)

Está relacionado com:

r - quantidade auxiliar calculada anteriormente;

N - foi considerada uma vida útil de 20 anos para os cabos da instalação.

A partir da equação (2.4):

$$Q = \sum_{20-1}^{20} r^{n-1} = \frac{1 - 1,007^{20}}{1 - 1,007} = 21,388$$

4.3. QUANTIDADE AUXILIAR (F)

Partindo das variáveis:

$N_p = 3$ (circuito trifásico);

$N_c=1$ (não há outros circuitos no mesmo eletroduto);

$T = 2112\text{h/ano}$, o tempo de operação foi calculado a partir do pressuposto que, o prédio funcionará 12 horas por dia, em um período de 20 dias por mês, durante 11 meses ao ano. Se faz necessário aplicar um fator de carga de 80% (fator estabelecido para escritórios), visto que o prédio não funcionará em alguns horários;

$P = 0,00018827$, o custo do watt-hora foi obtido através da análise da fatura de energia do prédio administrativo da UFERSA Campus Caraúbas;

D - não será considerado o custo da demanda pois a análise feita inclui somente o prédio administrativo da UFERSA Campus Caraúbas;

Q – quantidade auxiliar calculado em (4.2).

Aplicando as variáveis na equação (2.5) obtemos:

$$F = 3 * 1 * [2112 * (1,8827 * 10^{-4})] * \frac{21,388}{\left(1 + \frac{7,0}{100}\right)} = 23,844$$

4.4. QUANTIDADE AUXILIAR (B)

Esse parâmetro compreende as variáveis: efeito pelicular (y_s); fator de proximidade (y_p), fator de perda de cobertura (λ_1) e fator de perda de armação (λ_2), que podem ser obtidas a partir do IEC 60287-1-1, porém, como os cabos dimensionados neste trabalho são de baixa tensão essas variáveis podem ser desprezadas (ABNT, 2011), logo da equação (2.6) temos:

$$B = 1$$

4.5. CÁLCULO DA SEÇÃO ECONÔMICA PELA NBR 15920

Para o cálculo da seção econômica, ainda se faz necessário determinar algumas variáveis.

4.5.1. Temperatura Média de Operação do Condutor (Θ_m)

Para determinar a Θ_m é necessário conhecer a Θ (temperatura máxima de operação do condutor) e a Θ_a (temperatura ambiente média). A Θ foi obtido de acordo com o material de isolamento dos cabos, os mesmos possuem isolamento em PVC, e de acordo com a Figura 4.1, considera 70°C. Para o Θ_a durante todo o processo metodológico foi adotado 40°C.

Figura 4.2 - Temperaturas características dos condutores

Tipo de isolamento	Temperatura máxima para serviço contínuo (condutor) °C	Temperatura limite de sobrecarga (condutor) °C	Temperatura limite de curto-circuito (condutor) °C
Policloreto de vinila (PVC) até 300 mm ²	70	100	160
Policloreto de vinila (PVC) maior que 300 mm ²	70	100	140
Borracha etileno-propileno (EPR)	90	130	250
Polietileno reticulado (XLPE)	90	130	250

Fonte: ABNT (2004, p. 100)

Aplicando a equação (2.7), temos:

$$\theta_m = \left(\frac{70 - 40}{3} \right) + 40 = 50^\circ\text{C}$$

4.5.2. Corrente Máxima do Projeto

A corrente foi adotada para os piores casos, ou seja, considerando que os cabos dimensionados do projeto estão submetidos a corrente máxima que eles podem suportar. A corrente máxima foi obtida observando-se os valores dos disjuntores da entrada. Para o cabo de 70mm² a corrente máxima de projeto ($I_{msx}=150$ A).

4.5.3. Custo Por Unidade de Comprimento Conforme a Seção do Condutor

Como os custos dos cabos variam de acordo com seu tipo, maneira de instalação das linhas elétricas e mão de obra, é prático obter uma média do valor de A para todas as combinações de seções (ABNT, 2011). Essa média é obtida pela equação 4.1.

$$A = \frac{\Delta_{CT}}{\Delta S} \quad (4.1)$$

Onde,

ΔC_t – Variação do custo total;

ΔS – Variação da seção.

E a tabela 4.3 mostra os valores dos custos, bem como as seções dimensionadas. Logo substituindo os valores na equação 4.1, obtém-se $A=0,2487$.

Tabela 4.3 – Determinação de A

Custo Inicial (CI) [R\$/m]				
Seção (mm ²)	Cabo	Instalação	Total	$A=\Delta C_t/\Delta S$ [R\$/m.mm ²]
25	8,26	11,2	19,46	-
35	10,64	11,26	21,9	0,244
70	19,26	11,51	30,77	0,2534
Média				0,2487

Fonte: Autora

4.5.4. Resistividade Elétrica do Material Condutor a 20°C (P₂₀)

A resistividade varia de acordo com cada material. A maioria das instalações elétricas de baixa tensão geralmente são constituídas de condutores de cobre, pois possuem uma excelente condutividade elétrica e baixa resistência elétrica. A tabela 4.4 apresenta os valores da resistividade de alguns materiais a 20° C, e a adotada para este trabalho foi a do cobre.

Tabela 4.4 – Resistividade elétrica do material condutor

Material	Resistividade (ρ) a 20°C [Ω .m]
Prata	$1,645 * 10^{-8}$
Cobre	$1,723 * 10^{-8}$
Ouro	$2,443 * 10^{-8}$
Alumínio	$2,425 * 10^{-8}$
Tungstênio	$5,485 * 10^{-8}$
Níquel	$7,911 * 10^{-8}$
Ferro	$12,299 * 10^{-8}$

Tântalo	$15,54 * 10^{-8}$
Nicromo	$99,72 * 10^{-8}$
Óxido de estanho	$250 * 10^{-8}$
Carbono	$3500 * 10^{-8}$

Fonte: Adaptado de Boylestad (2004,p.50)

4.5.5. Coeficiente de Temperatura para a Resistência do Condutor a 20°C (A_{20})

A resistência dos condutores pode variar devido a mudança de temperatura do meio em que estão instalados. A tabela 4.5 relaciona alguns materiais aos seus coeficientes, e o valor utilizado nesse trabalho foi, $\alpha_{20}=0,00393$.

Tabela 4.5 - Coeficiente de temperatura para resistência do condutor a 20°C

Material	Coeficiente de temperatura (α) a 20°C [1/K]
Prata	0,0038
Cobre	0,00393
Ouro	0,034
Alumínio	0,00391
Tungstênio	0,005
Níquel	0,006
Ferro	0,0055
Nicromo	0,00044

Fonte: Boylestad (2004,p.54)

4.5.6. Seção Econômica pela NBR 15920:2011

Após apresentadas todas as variáveis e parâmetros iniciais, aplicando a equação (2.8), obtém-se:

$$Sec = 1000 * \left[\frac{150^2 * 23,844 * (1,723 * 10^{-8}) * 1 * [1 + 3,93 * 10^{-3} * (50 - 20)]}{0,2487} \right]^{0,5} = 204 \text{mm}^2$$

Como 204mm² não é uma seção padronizada, nesta situação é necessário calcular o custo total para as seções de condutores padronizadas maiores e menores adjacentes (185mm² e 240mm²) (ABNT, 2011), e escolher a seção de condutor com menor custo dentre as duas.

4.6. CUSTO TOTAL DAS SEÇÕES ECONÔMICAS ADQUIRIDAS NO PRIMEIRO CÁLCULO

Inicialmente é necessário calcular a resistência aparente do condutor por unidade de comprimento (R), de cada seção. De acordo com os valores adquiridos anteriormente de $\rho_{20}=1,723 * 10^{-8}$, $\alpha_{20}=0,00393$, $B=1$ e $\Theta_m=50$ e a partir da equação (2.10) tem-se:

$$R_{(185)} = \frac{1,723 * 10^{-8} * 1 * [1 + 3,93 * 10^{-3} * (50 - 20)]}{185} * 10^6 = 1,0412 * \frac{10^{-4}\Omega}{m}$$

$$R_{(240)} = \frac{1,723 * 10^{-8} * 1 * [1 + 3,93 * 10^{-3} * (50 - 20)]}{240} * 10^6 = 0,8026 * \frac{10^{-4}\Omega}{m}$$

Em seguida calcula-se o custo total para cada seção. Para determinar o custo total é necessário conhecer o CI (o custo inicial é calculado multiplicando o custo total inicial, indicado na tabela 4.6, pelo comprimento do cabo).

Tabela 4.6 – Custo inicial

Seção nominal do cabo (mm ²)	Custo Inicial (CI) [\$m]		
	Cabo	Instalação (Linha elétrica + mão de obra)	Total
25	6,9	11,2	18,1
35	7,57	11,26	18,83
50	8,57	11,37	19,94
70	9,91	11,51	21,42
95	11,58	11,68	23,26
120	13,24	11,86	25,1
150	15,24	12,06	27,3
185	17,58	12,3	29,88
240	21,25	12,68	33,93
300	25,25	13,09	38,34

Fonte: Adaptado de PROCOBRE (2011, p.15)

O cabo de 70mm² possui 150m, esse valor foi adquirido pela análise do orçamento do prédio administrativo da UFERSA Caraúbas. Logo, com os valores adquiridos anteriormente de $I_{\max}=150$, $L=150$, $F=23,844$, R (para cada seção) e pela equação (2.9) tem-se

$$CT_{(185)} = 29,88 * 150 + 150^2 * (1,0412 * 10^{-4}) * 150 * 23,844 = R\$12860,90$$

$$CT_{(240)} = 33,93 * 150 + 150^2 * (0,8026 * 10^{-4}) * 150 * 23,844 = R\$11548,30$$

Portanto o condutor de 240mm² foi a seção econômica escolhida pelo critério de dimensionamento segundo a NBR 15920:2011.

4.7. CUSTO TOTAL DA SEÇÃO TÉCNICA

Calcula-se a resistência aparente do condutor por unidade de comprimento (R), de cada seção. De acordo com os valores adquiridos anteriormente de $\rho_{20}=1,723 * 10^{-8}$, $\alpha_{20}=0,00393$, $B=1$ e $\Theta_m=50$ e a partir da equação (2.10) tem-se:

$$R_{(70)} = \frac{1,723 * 10^{-8} * 1 * [1 + 3,93 * 10^{-3} * (50 - 20)]}{70} * 10^6 = 2,7516 * \frac{10^{-4} \Omega}{m}$$

Em seguida calcula-se o custo total para a seção técnica pela equação (2.9), obtendo-se:

$$CT_{(70)} = 21,42 * 150 + 150^2 * 2,7516 * 10^{-4} * 150 * 23,844 = R\$25356,09$$

4.8. DIMENSIONAMENTO AMBIENTAL

Para realizar o dimensionamento ambiental dos condutores, consideram-se os cabos escolhidos pelo critério técnico (70mm²) e econômico (240mm²).

4.8.1. Redução da Emissão de Co₂ na Geração de Energia Pelo Aumento da Seção (Z₁)

Pela equação (4.1):

$$Z_1 = N * [N_p * N_c * I_{\max}^2 * (R_1 - R_2) 10^{-3} * T * L * K_1] \quad (4.1)$$

Onde,

K_1 - emissão de CO_2 no momento da geração por unidade de energia elétrica. Este valor varia de acordo com a matriz energética de cada país, e no caso do Brasil, o valor de $K_1=0,081$ [kg- CO_2 /kWh] (PROCOBRE, 2011, p.19);

$R_1 = 0,27516 \Omega/\text{km}$, resistência aparente do condutor por unidade de comprimento da seção técnica, calculada em (4.7);

$R_2 = 0,08026 \Omega/\text{km}$, resistência aparente do condutor por unidade de comprimento da seção econômica, calculada em (4.6);

Os valores de N , N_p , N_c , $I_{\max}$, T e L já foram mencionados em (2.4.2) e (2.4.3), logo da equação (4.3):

$$Z_1 = 20 * [3 * 1 * 150^2 * (0,27516 - 0,08026) * 10^{-3} * 2112 * 0,15 * 8,1 * 10^{-2}] = 6752 \text{kg} - \text{CO}_2$$

4.8.2. Aumento da Emissão de CO_2 na Fabricação de Condutores Pelo Aumento da Seção (Z_2)

Pela equação (4.4):

$$Z_2 = N_p * [(W_2 - W_1) * L * K_2] \quad (4.2)$$

Onde:

K_2 - emissão de CO_2 no momento da produção do cobre por quilo de cobre. Este valor varia conforme a matriz energética de cada país e do processo de fabricação e extração do metal, no caso do Brasil, o valor de $K_2=4,09$ [kg- CO_2 /kg-CU], que equivale a produção do catodo de cobre realizada naquele país naquele país (PROCOBRE, 2011, p.19);

W_2 - peso do condutor por unidade de comprimento dimensionado pelo critério técnico (menor seção), consultado na tabela 13, [kg/km];

W_1 - peso do condutor por unidade de comprimento dimensionado pelo critério econômico (maior seção), consultado na tabela 13, [kg/km];

$N_p=3$ mencionado em (4.3), $L=150$ mencionado em (4.6).

Figura 4.3 - Pesos de cabo de cobre

Seção nominal (mm²)	Peso total aproximado (kg/km)
1,5	13,5
2,5	22,4
4	35,9
6	53,9
10	90,1
16	145
25	224
35	314
50	450
70	633
95	853
120	1.080
150	1.350
185	1.660
240	2.170
300	2.720
400	3.590
500	4.480

Fonte: (PROCOBRE, 2011, p. 20)

Sabendo que a seção técnica obtida foi de 70mm² o valor de $W_1 = 633$, e a seção econômica obtida foi de 240mm², o valor de $W_2 = 2170$. A partir da equação (4.4) tem-se:

$$Z_2 = 3 * [(2170 - 633) * 0,15 * 4,09] = 2828,85\text{kg} - \text{CO}_2$$

É importante destacar que para o dimensionamento dos demais cabos foi realizado o mesmo processo utilizado para o cabo de 70mm².

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Foram dimensionados os cabos de 25, 35 e 70mm², do prédio administrativo da UFERSA Caraúbas, e para obtenção dos resultados dos almejados se fez necessário um estudo comparativo entre o dimensionamento técnico regido pela NBR 5410:2004, e dimensionamento econômico e ambiental segundo a NBR 15920:2011. Para realizar o dimensionamento de acordo com a NBR 15920 foi necessário a criação de um programa de

cálculos que se baseia no processo equacional descrito na metodologia do trabalho em questão. Este último se subdivide em quatro zonas, como será explanado a seguir.

5.1. DIMENSIONAMENTO DO CABO DE 25mm²

O cabo de 25mm² é o cabo obtido do dimensionamento pela NBR 5410:2004, esse valor será inserido no programa como dado de entrada, para que se possa obter seu custo.

5.1.1. Zona 1

Inicialmente é preciso inserir os dados de entrada na zona 1, como mostra a Figura 5.1.

Figura 5.1 - Dados de Entrada Para o Cabo de 25mm²

Dados de entrada - ZONA 1	
a (arbitrado ou obtido de outras fontes) - [adimensional]	1
b (arbitrado ou obtido de outras fontes) - [adimensional]	5,64
i (arbitrado ou obtido de outras fontes) - [%]	7
N (arbitrado) - [ano]	20
Baixa tensão (dado de projeto) - [sim ou não]	sim
Np (dado de projeto) - [adimensional]	3
Nc (dado de projeto) - [adimensional]	1
P (obtido de outras fontes) - [\$/w.h]	0,00018827
T (dado de projeto) - [h/ano]	2112
D (dado de projeto) - [\$/w.ano]	0
l (dado de projeto)	m
	10
Seção técnica (consultar NBR 5410) - [mm ²]	km
	0,01
A (consultar tabela 1) - [\$/m.mm ²]	25
θa (arbitrado) - [°C]	0,2487
θ (PVC-consultar tabela 35; EPR-consultar tabela 35) - [°C]	40
Imáx(PVC-ver tabela 36; EPR-ver tabela 37) - [A]	70
ρ20 - (consultar tabela 2) [Ωm]	86
α20 - (consultar tabela 3) [1/K]	1,723E-08
	0,00393

Fonte: Autora

Os dados iniciais são aqueles obtidos a partir de normas regulamentadoras, de dados do projeto, valores arbitrados pelo usuário, dentre outras fontes.

5.1.2. Zona 2

Na zona 2, tópico 2.1 são apresentadas as constantes, como mostra a Figuras 5.2 .

Figura 5.2 - Constantes Utilizada como Parâmetro de Análise

Constantes	
K1(arbitrado, consultar PÁGINA 19)-[kg-CO2/kWh]	0,081
K2 (arbitrado, consultar PÁGINA 19)-[kg-CO2/kg-CUI]	4,09
W1-Técnica (Consultar TABELA 3)-[kg/km]	224
W2-Econômica (Consultar TABELA 3)-[kg/km]	1080

Fonte: Autora

E são calculados os parâmetros iniciais para o cálculo do dimensionamento econômico, como mostra a Figura 5.3.

Figura 5.3 - Parâmetros Iniciais para o Cálculo do dimensionamento econômico

Programação			
ZONA 2 - Dimensionamento econômico			
2.1 - parâmetros iniciais, Quantidades auxiliares e Constantes			
Cálculos a partir da ZONA 1		Quantidade Axiliares	
λ_p [adimensional]	0	B [adimensional]	1
λ_s [adimensional]	0	r [adimensional]	1,007
λ_1 [adimensional]	0	Q [adimensional]	21,388
λ_2 [adimensional]	0	F [adimensional]	23,844

Fonte: Autora

No tópico 2.2, são realizados os cálculos intermediários, onde calcula-se a temperatura do condutor, e a seção econômica, porém, como já foi mencionado anteriormente, geralmente a primeira seção calculada não é uma seção padronizada, por isso é necessário calcular os custos iniciais, custos operacionais e o custo total das seções padronizadas maiores e menores adjacentes a primeira seção calculada. Esses cálculos estão apresentados na Figura 5.4.

Figura 5.4 - Escolha da seção econômica de acordo com o menor custo

2.2- cálculos intermediários

Θm-[°C]

50

Seção econômica calculada-[mm²]

117

Seção menor possível de ser adotada (consultar TAB 3)-[mm²]

95

Custo Inicial Total da Seção Menor
(consultar TABELA 2)- [\$ /m]

23,26

R(seção)

95

[Ω/m]

[Ω/km]

0,00020275

0,20275

CJ-[\$]

357,55

CI-[\$]

232,6

CT-[\$]

590,15

Seção maior possível de ser adotada (consultar TAB 3)-[mm²]

120

Custo Inicial Total da Seção Maior
(consultar TABELA 2)- [\$ /m]

25,1

R(seção)

120

[Ω/m]

[Ω/km]

0,00016051

0,16051

CJ-[\$]

283,06

CI-[\$]

251

CT-[\$]

534,06

1ª Seção Escolhida-[mm²]

120

Fonte: Autora

A Figura 5.5 apresenta o cálculo do custo da seção técnica, bem como a escolha da seção quando comparados os custos de ambas.

Figura 5.5 - Escolha da seção econômica comparando o custo da seção técnica com o custo da econômica

Cálculo do custo da seção técnica			
Custo Inicial Total da Seção Técnica (consultar TABELA 2)-[\$/m]		18,1	
R (Seção)	25	[Ω/m]	[Ω/km]
		0,00077046	0,77046
CJ-[\$]		1358,71	
CI-[\$]		181	
CT-[\$]		1539,71	
Seção Escolhida compando os custos da seção técnica e econômica-[mm²]		120	

Fonte: Autora

A Figura 5.6, apresenta a zona 3, onde mostra o dimensionamento ambiental, e escolha da seção de acordo com esse critério.

Figura 5.6 - Escolha da seção pelo dimensionamento ambiental

ZONA 3 - Dimensionamento Ambiental			
R (Seção)	25	[Ω/m]	[Ω/km]
		0,00077046	0,77046
Z1-[kg-CO2]		463	
Z2-[kg-CO2]		105,03	
Z1-Z2-[kg-CO2]		357,97	
Seção Escolhida de acordo com o dimensionamento ambiental-[mm²]		120	

Fonte: Autora

Por fim a Figura 5.7 apresenta a zona 4, onde se encontra os dados de saída, ou seja, todos os resultados finais obtidos pelo programa.

Figura 5.7 - Resultado Final Escolhido para o Projeto

Dados de saída - ZONA 4	
4.1 Resumo dos resultados do programa	
Seção calculada pelo critério técnico -NBR 5410	25
Seção calculada pelo dimensionamento econômico e ambiental -NBR 15920	120
4.2 Resultado final escolhido para projeto	
SecEscolhida-[mm²]	120

Fonte: Autora

5.1.3. Considerações Finais

Para o dimensionamento realizado no cabo de 25mm², encontram-se os seguintes resultados:

Tabela 5.1 – Dimensionamento do cabo de 25 mm²

Critério	Seção (mm²)	CI (\$)	CJ em vinte anos (\$)	CT em vinte anos (R\$)
Econômico (15920)	120	251,00	283,06	534,06
Técnico (5410)	25	181,00	1358,71	1539,71

Fonte: Autora

Da tabela 5.1 pode-se observar que apesar do custo inicial do cabo dimensionado pelo critério econômico ser maior que o custo do técnico, o cabo de 120mm² apresenta um custo bem menor que o de 25mm², devido às perdas joules durante a vida econômica. Assim, o custo total do cabo dimensionado pelo critério técnico se torna bem maior que o econômico.

5.1.4. Período de Retorno do Investimento

Calculando a diferença entre os custos iniciais, temos:

$$CI_{eco} - CI_{tec} = 251 - 181 = R\$70,00$$

Calculando a diferença entre os custos operacionais, temos:

$$CJ_{tec} - CJ_{econ} = 1358,71 - 283,06 = R\$1075,65 \text{ em 20 anos, logo por ano tem - se : } CJ = R\$53,782$$

Por fim, o retorno do investimento será:

$$\frac{70}{53,782} = 1,3 \text{ anos}$$

Portando, o desembolso inicial extra para comprar um cabo de maior seção, retornará em um período de 1,3 anos, bem menor que o período considerado (20 anos).

5.1.5. Análise Ambiental

Tabela 5.2 – Ganho Ambiental Obtido pela Redução da Emissão de CO₂

Redução da emissão de CO₂ na geração de energia pelo aumento da seção (Z₁)	Aumento da emissão de CO₂ na fabricação de condutores pelo aumento da seção (Z₂)	Ganho ambiental obtido pela redução da emissão de CO₂ devido ao dimensionamento econômico dos condutores (Z₁-Z₂).
463	105,03	357,97

Fonte: Autora

Da tabela 5.2 conclui-se que foram evitadas as emissões de 357,97 kg de CO₂ na atmosfera em um período de 20 anos, e que redução na emissão de CO₂ obtido pelo uso do cabo de maior seção, compensa o aumento na emissão de CO₂ devido ao processo de fabricação dos cabos de maiores seções.

Por fim, pode-se considerar com base nos dados estimados, que a instalação pelo método econômico é um ótimo investimento.

5.2. DIMENSIONAMENTO DO CABO DE 35mm²

O cabo de 35mm² é o cabo obtido do dimensionamento pela NBR 5410:2004, esse valor será inserido no programa como dado de entrada, para que se possa obter seu custo.

5.2.1. Zona 1

Inicialmente é necessário inserir os dados de entrada na zona 1, como mostra a Figura 5.8.

Figura 5.8 - Dados de entrada para o Dimensionamento do Cabo de 35mm³

Dados de entrada - ZONA 1		
a (arbitrado ou obtido de outras fontes) - [adimensional]	1	
b (arbitrado ou obtido de outras fontes) - [adimensional]	5,64	
i (arbitrado ou obtido de outras fontes) - [%]	7	
N (arbitrado) - [ano]	20	
Baixa tensão (dado de projeto) - [sim ou não]	sim	
Np (dado de projeto) - [adimensional]	3	
Nc (dado de projeto) - [adimensional]	1	
P (obtido de outras fontes) - [\$/w.h]	0,00018827	
T (dado de projeto) - [h/ano]	2112	
D (dado de projeto) - [\$/w.ano]	0	
l (dado de projeto)	m	km
	100	0,1
Seção técnica (consultar NBR 5410) - [mm ²]	35	
A (consultar tabela 1) - [\$/m.mm ²]	0,2487	
θa (arbitrado) - [°C]	40	
θ (PVC-consultar tabela 35; EPR-consultar tabela 35) - [°C]	70	
Imáx (PVC-ver tabela 36; EPR-ver tabela 37) - [A]	103	
p20 - (consultar tabela 2) [Ωm]	1,723E-08	
α20 - (consultar tabela 3) [1/K]	0,00393	

Fonte: Autora

Os dados iniciais são aqueles obtidos a partir de normas regulamentadoras, de dados do projeto, valores arbitrados pelo usuário, dentre outras fontes.

5.2.2. Zona 2

Na zona 2, tópico 2.1 são apresentadas as constantes, como mostra a Figuras 5.9

Figura 5.9 – Constantes Utilizadas como Parâmetros de Análise

Constantes	
K1(arbitrado, consultar PÁGINA 19)-[kg-CO2/kWh]	0,081
K2 (arbitrado, consultar PÁGINA 19)-[kg-CO2/kg-CU]	4,09
W1-Técnica (Consultar TABELA 3)-[kg/km]	314
W2-Econômica (Consultar TABELA 3)-[kg/km]	1350

Fonte: Autora

E são calculados os parâmetros iniciais para o cálculo do dimensionamento econômico, como mostra a Figura 5.10.

Figura 5.10 – Parmetros Iniciais para o Cálculo do dimensionamento econômico

Programação			
ZONA 2 - Dimensionamento econômico			
2.1 - parâmetros iniciais, Quantidades auxiliares e Constantes			
Cálculos a partir da ZONA 1		Quantidade Axiliares	
λ_p [adimensional]	0	B [adimensional]	1
λ_s [adimensional]	0	r [adimensional]	1,007
λ_l [adimensional]	0	Q [adimensional]	21,388
λ_2 [adimensional]	0	F [adimensional]	23,844

Fonte: Autora

No tópico 2.2, são realizados os cálculos intermediários, onde calcula-se a temperatura do condutor, e a seção econômica, porém, como já foi mencionado anteriormente, geralmente a primeira seção calculada não é uma seção padronizada, por isso é necessário calcular os

custos iniciais, custos operacionais e o custo total das seções padronizadas maiores e menores adjacentes a primeira seção calculada. Esses cálculos estão apresentados na Figura 5.11.

Figura 5.111 – Escolha da seção econômica de acordo com o menor custo

2.2- cálculos intermediários

Θm-[°C]

Seção econômica calculada-[mm²]

50

140

Seção menor possível de ser adotada (consultar TAB 3)-[mm²]

120

Custo Inicial Total da Seção Menor
(consultar TABELA 2)- [\$ /m]

25,1

R(seção)

120

Ω/m

Ω/km

0,00016051

0,16051

CJ-[\$]

4060,28

CI-[\$]

2510

CT-[\$]

6570,28

Seção maior possível de ser adotada (consultar TAB 3)-[mm²]

150

Custo Inicial Total da Seção Maior
(consultar TABELA 2)- [\$ /m]

27,3

R(seção)

150

Ω/m

Ω/km

0,00012841

0,12841

CJ-[\$]

3248,27

CI-[\$]

2730

CT-[\$]

5978,27

1° Seção Escolhida-[mm²]

150

Fonte: Autora

A Figura 5.12 apresenta o cálculo do custo da seção técnica, bem como a escolha da seção quando comparados os custos de ambas.

Figura 5.12 - Escolha da seção econômica comparando o custo da seção técnica com o custo da econômica

Cálculo do custo da seção técnica			
Custo Inicial Total da Seção Técnica (consultar TABELA 2)-[\$/m]		18,84	
R (Seção)	35	[Ω/m]	[Ω/km]
		0,00055033	0,55033
CJ-[\$]		13921,2	
CI-[\$]		1884	
CT-[\$]		15805,2	
Seção Escolhida compando os custos da seção técnica e econômica-[mm²]		150	

Fonte: Autora

A Figura 5.13, apresenta a zona 3, onde mostra o dimensionamento ambiental, e escolha da seção de acordo com esse critério.

Figura 5.132 - Escolha da seção pelo dimensionamento ambiental

ZONA 3 - Dimensionamento Ambiental			
R (Seção)	35	[Ω /m]	[Ω /km]
		0,00055033	0,55033
Z1-[kg-CO ₂]		4594	
Z2-[kg-CO ₂]		1271,17	
Z1-Z2-[kg-CO ₂]		3322,83	
Seção Escolhida de acordo com o dimensionamento ambiental-[mm ²]		150	

Fonte: Autora

Por fim, a Figura 5.14 apresenta a zona 4, onde se encontra os dados de saída, ou seja, todos os resultados finais obtidos pelo programa.

Figura 5.14 – Resultado Final Escolhido para o Projeto

4.1 Resumo dos resultados do programa	
Seção calculada pelo critério técnico -NBR 5410	35
Seção calculada pelo dimensionamento econômico e ambiental -NBR 15920	150
4.2 Resultado final escolhido para projeto	
SecEscolhida-[mm ²]	150

Fonte: Autora

5.2.3. Considerações Finais

Para o dimensionamento realizado no cabo de 35mm², encontram-se os seguintes resultados:

Tabela 5.3 – Dimensionamento do cabo de 35 mm²

Critério	Seção (mm²)	CI (\$)	CJ em vinte anos (\$)	CT em vinte anos (R\$)
Econômico (15920)	150	2730,00	3248,27	5978,27
Técnico (5410)	35	1884	13921,2	15805,2

Fonte: Autora

Da tabela 5.3 pode-se observar que apesar do custo inicial do cabo dimensionado pelo critério econômico ser maior que o custo do técnico, o cabo de 150mm² apresenta um custo bem menor que o de 35mm², devido às perdas joules durante a vida econômica. Assim, o custo total do cabo dimensionado pelo critério técnico se torna bem maior que o econômico.

5.2.4. Período de Retorno do Investimento

Calculando a diferença entre os custos iniciais, temos:

$$CI_{eco} - CI_{tec} = 2730 - 1884 = R\$846,00$$

Calculando a diferença entre os custos operacionais, temos:

$$CJ_{tec} - CJ_{econ} = 13921,2 - 3248,27 = R\$10672,93 \text{ em 20 anos, logo por ano tem - se: } CJ = R\$533,64$$

Por fim, o retorno do investimento será:

$$\frac{846,00}{533,64} = 1,58 \text{ anos}$$

Portando, o desembolso inicial extra para comprar um cabo de maior seção, retornará em um período de 1,58 anos, bem menor que o período considerado (20 anos).

5.2.5. Análise Ambiental

Tabela 5.4 – Ganho Ambiental Obtido pela Redução da Emissão de CO₂

Redução da emissão de CO₂ na geração de energia pelo aumento da seção (Z₁)	Aumento da emissão de CO₂ na fabricação de condutores pelo aumento da seção (Z₂)	Ganho ambiental obtido pela redução da emissão de CO₂ devido ao dimensionamento econômico dos condutores (Z₁-Z₂).
4594	1271,17	3322,83

Fonte: Autora

Da tabela 5.4 conclui-se que foram evitadas as emissões de 3322,84 kg de CO₂ na atmosfera em um período de 20 anos, e que redução na emissão de CO₂ obtido pelo uso do cabo de maior seção, compensa o aumento na emissão de CO₂ devido ao processo de fabricação dos cabos de maiores seções.

Por fim, pode-se considerar com base nos dados estimados, que a instalação pelo método econômico é um ótimo investimento.

5.3. DIMENSIONAMENTO DO CABO DE 70mm²

O cabo de 70mm² é o cabo obtido do dimensionamento pela NBR 5410:2004, esse valor será inserido no programa como dado de entrada, para que se possa obter seu custo.

5.3.1. Zona 1

Inicialmente é necessário inserir os dados de entrada na zona 1, como mostra a Figura 5.15.

Figura 5.15 - Dados de Entrada para o Dimensionamento do Cabo de 70mm²

Dados de entrada - ZONA 1		
a (arbitrado ou obtido de outras fontes) - [adimensional]	1	
b (arbitrado ou obtido de outras fontes) - [adimensional]	5,64	
i (arbitrado ou obtido de outras fontes) - [%]	7	
N (arbitrado) - [ano]	20	
Baixa tensão (dado de projeto) - [sim ou não]	sim	
Np (dado de projeto) - [adimensional]	3	
Nc (dado de projeto) - [adimensional]	1	
P (obtido de outras fontes) - [\$/w.h]	0,00018827	
T (dado de projeto) - [h/ano]	2112	
D (dado de projeto) - [\$/w.ano]	0	
L (dado de projeto)	m	km
	150	0,15
Seção técnica (consultar NBR 5410) - [mm ²]	70	
A(consultar tabela 1) - [\$/m.mm ²]	0,2487	
θa (arbitrado) - [°C]	40	
θ (PVC-consultar tabela 35; EPR-consultar tabela 35) - [°C]	70	
Imáx(PVC-ver tabela 36; EPR-ver tabela 37) - [A]	150	
ρ20 - (consultar tabela 2) [Ωm]	1,723E-08	
α20 - (consultar tabela 3) [1/K]	0,00393	

Fonte: Autora

Os dados iniciais são aqueles obtidos a partir de normas regulamentadoras, de dados do projeto, valores arbitrados pelo usuário, dentre outras fontes.

5.3.2. Zona 2

Na zona 2, tópico 2.1 são apresentadas as constantes como mostra a Figura 5.16.

Figura 5.161 – Constantes Utilizados como Parâmetro de Análise

Constantes	
K1(arbitrado, consultar PÁGINA 19)-[kg-CO2/kWh]	0,081
K2 (arbitrado, consultar PÁGINA 19)-[kg-CO2/kg-CU]	4,09
W1-Técnica (Consultar TABELA 3)-[kg/km]	633
W2-Econômica (Consultar TABELA 3)-[kg/km]	2170

Fonte: Autora

E são calculados os parâmetros iniciais para o cálculo do dimensionamento econômico como mostra a Figura 5.17.

Figura 5.17 – Parâmetros Iniciais para o Cálculo do dimensionamento econômico

Programação			
ZONA 2 - Dimensionamento econômico			
2.1 - parâmetros iniciais, Quantidades auxiliares e Constantes			
Cálculos a partir da ZONA 1		Quantidade Axiliares	
λ_p [adimensional]	0	B [adimensional]	1
λ_s [adimensional]	0	r [adimensional]	1,007
λ_1 [adimensional]	0	Q [adimensional]	21,388
λ_2 [adimensional]	0	F [adimensional]	23,844

Fonte: Autora

No tópico 2.2, são realizados os cálculos intermediários, onde calcula-se a temperatura do condutor, e a seção econômica, porém, como já foi mencionado anteriormente, geralmente a primeira seção calculada não é uma seção padronizada, por isso é necessário calcular os

custos iniciais, custos operacionais e o custo total das seções padronizadas maiores e menores adjacentes a primeira seção calculada. Esses cálculos estão apresentados na Figura 5.18.

Figura 5.182 – Escolha da seção econômica de acordo com o menor custo

2.2- cálculos intermediários			
Θm-[°C]		50	
Seção econômica calculada-[mm²]		204	
Seção menor possível de ser adotada (consultar TAB 3)-[mm²]			
185			
Custo Inicial Total da Seção Menor (consultar TABELA 2)- [\$ /m]		29,88	
R(seção)	185	[Ω/m]	[Ω/km]
		0,00010412	0,10412
CJ-[\$]		8378,9	
CI-[\$]		4482	
CT-[\$]		12860,9	
Seção maior possível de ser adotada (consultar TAB 3)-[mm²]			
240			
Custo Inicial Total da Seção Maior (consultar TABELA 2)- [\$ /m]		33,93	
R(seção)	240	[Ω/m]	[Ω/km]
		0,00008026	0,08026
CJ-[\$]		6458,8	
CI-[\$]		5089,5	
CT-[\$]		11548,3	
1ª Seção Escolhida-[mm²]		240	

Fonte: Autora

A Figura 5.19 apresenta o cálculo do custo da seção técnica, bem como a escolha da seção quando comparados os custos de ambas.

Figura 5.19 - Escolha da seção econômica comparando o custo da seção técnica com o custo da econômica

Cálculo do custo da seção técnica			
Custo Inicial Total da Seção Técnica (consultar TABELA 2)-[\$ /m]		21,42	
R (Seção)	70	[Ω/m]	[Ω/km]
		0,00027516	0,27516
CJ-[\$]		22143,09	
CI-[\$]		3213	
CT-[\$]		25356,09	
Seção Escolhida compando os custos da seção técnica e econômica-[mm ²]		240	

Fonte: Autora

A Figura 5.20, apresenta a zona 3, onde mostra o dimensionamento ambiental, e escolha da seção de acordo com esse critério.

Figura 5.20 - Escolha da pelo dimensionamento ambiental

ZONA 3 - Dimensionamento Ambiental			
R (Seção)	70	[Ω /m]	[Ω /km]
		0,00027516	0,27516
Z1-[kg-CO ₂]		6752	
Z2-[kg-CO ₂]		2828,85	
Z1-Z2-[kg-CO ₂]		3923,15	
Seção Escolhida de acordo com o dimensionamento ambiental-[mm ²]		240	

Fonte: Autora

A Figura 5.21 apresenta a zona 4, onde se encontra os dados de saída, ou seja, todos os resultados finais obtidos pelo programa.

Figura 5.213 – Resultado Final Escolhido para o Projeto

Dados de saída - ZONA 4	
4.1 Resumo dos resultados do programa	
Seção calculada pelo critério técnico -NBR 5410	70
Seção calculada pelo dimensionamento econômico e ambiental -NBR 15920	240
4.2 Resultado final escolhido para projeto	
SecEscolhida-[mm ²]	240

Fonte: Autora

5.3.3. Considerações Finais

Para o dimensionamento realizado no cabo de 70mm², encontram-se os seguintes resultados:

Tabela 5.5 – Dimensionamento do cabo de 70 mm²

Critério	Seção (mm²)	CI (\$)	CJ em vinte anos (\$)	CT em vinte anos (\$)
Econômico (15920)	240	5089,50	6458,8	11548,3
Técnico (5410)	70	3213	22143,09	25356,09

Fonte: Autora

Da tabela 5.5 pode-se observar que apesar do custo inicial do cabo dimensionado pelo critério econômico ser maior que o custo do técnico, o cabo de 240mm² apresenta um custo bem menor que o de 70mm², devido às perdas joules durante a vida econômica. Assim, o custo total do cabo dimensionado pelo critério técnico se torna bem maior que o econômico.

5.3.4. Período de Retorno do Investimento

Calculando a diferença entre os custos iniciais, temos:

$$CI_{eco} - CI_{tec} = 5089,50 - 3213,00 = R\$1876,50$$

Calculando a diferença entre os custos operacionais, temos:

$$CJ_{tec} - CJ_{econ} = 22143,09 - 6458,8 = R\$15684,29 \text{ em 20 anos, logo por ano tem - se : } CJ = R\$784,21$$

Por fim, o retorno do investimento será:

$$\frac{1876,50}{784,21} = 2,39 \text{ anos}$$

Portando, o desembolso inicial extra para comprar um cabo de maior seção, retornará em um período de 2,39 anos, bem menor que o período considerado (20 anos).

5.3.5. Análise Ambiental

Tabela 5.6 – Ganho Ambiental Obtido pela Redução da Emissão de CO₂

Redução da emissão de CO₂ na geração de energia pelo aumento da seção (Z₁)	Aumento da emissão de CO₂ na fabricação de condutores pelo aumento da seção (Z₂)	Ganho ambiental obtido pela redução da emissão de CO₂ devido ao dimensionamento econômico dos condutores (Z₁-Z₂).
6752	2828,85	3923,15

Fonte: Autora

Da tabela 5.6 conclui-se que foram evitadas as emissões de 3923,15 kg de CO₂ na atmosfera em um período de 20 anos, e que redução na emissão de CO₂ obtido pelo uso do cabo de maior seção, compensa o aumento na emissão de CO₂ devido ao processo de fabricação dos cabos de maiores seções.

Por fim, pode-se considerar com base nos dados estimados, que a instalação pelo método econômico é um ótimo investimento.

6. CONCLUSÃO GERAL

O presente trabalho teve como foco o estudo sobre a NBR 15920:2011, que realiza um dimensionamento econômico e ambiental dos condutores de uma instalação elétrica, com o objetivo de obter cabos de maiores seções, visando buscar meios de contribuir cada vez mais com o meio ambiente, colaborando com a diminuição de impactos ambientais haja vista que a questão ambiental tem se tornado um quesito importante para o setor da construção civil.

O trabalho tem como propósito redimensionar os cabos de uma instalação elétrica utilizando o programa criado no Excel baseado nos equacionamentos presente na NBR 15920:2011, a fim de melhorar a eficiência energética de unidades consumidoras.

Observou-se que os cabos resultantes do dimensionamento econômico possuem custos iniciais mais elevados que os cabos dimensionados pelo critério técnico, porém seus custos devido às perdas joules durante a vida econômica são mais baratos do que o custo dos cabos dimensionados pelo critério técnico.

Ainda, pode-se perceber que esse desembolso inicial extra para se obter cabos com maiores seções retornará em períodos muito inferiores ao período considerado de 20 anos. Assim, pode-se concluir que as instalações dos circuitos em questão pelo critério econômico serão um ótimo investimento.

Como sugestão futura para próximos trabalhos propõe-se a utilização da NBR 15920:2011 para o dimensionamento de cabos de alta tensão, tendo em vista que o método econômico se mostrou bastante eficaz para condutores que possuem seções maiores que 25mm².

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENE, Agência Para A Energia. **Certificação de Edifícios**. 2014. Disponível em: <<http://www.adene.pt/sce/textofaqs/certificacao-de-edificios>>. Acesso em: 20 maio. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15920**: Cabos elétricos — Cálculo da corrente nominal — Condições de operação — Otimização econômica das seções dos cabos de potência. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 27 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 209 p.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução a análise de circuitos**. 10. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003. 842 p.

BRASIL, Green Building Council. **Apresentação Referencial GBC Brasil Casa**. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/?p=referencialCasasApresentacao>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

COPEL, **Manual de eficiência energética na indústria**. 2005. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual/\\$FILE/manual_eficiencia_energ.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual/$FILE/manual_eficiencia_energ.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2014.

IBRE, Instituto Brasileiro de Economia. **Conjuntura Estatística**. 2014. Disponível em: <<file:///C:/Users/JESSICA/Downloads/Conjuntura%20Estatistica%20-%20Fevereiro%20de%202014.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2014.

IDHEA, Instituto para o desenvolvimento da habitação ecológica. **Nove passos para a obra sustentável**: Resumo. (s.d). Disponível em: <http://www.idhea.com.br/pdf/nove_passos.pdf>. Acesso em: 18 maio. 2014.

INSTITUTO CARBONO BRASIL. **Construções verdes**. (s.d). Disponível em: <http://www.institutocarbonobrasil.org.br/cidades/construcoes_verdes>. Acesso em: 18 maio. 2014.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60287-1-1**: Electric cables - Calculation of the current rating - Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses - General. Rio de Janeiro: IEC, 2006. 65 p.

IPCE, A qualidade na energia. **Introdução aos fios e cabos**. (s.d). Disponível em: <<http://www.ipce.com.br/introducao.php>>. Acesso em: 30 abr. 2014.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2007. 908 p.

MORENO, H. **Dimensionamento Econômico e Ambiental de Condutores Elétricos**: Um caminho para economizar energia e preservar o meio ambiente. 2013. 36 f. Seminário online ao Leonardo Energy, 2013.

MORENO, Hilton. **Dimensionamento econômico (nbr 15920) e ambiental de condutores elétricos aplicado a edifícios residenciais, hotéis, shoppings e outros locais**. 2013. Disponível em: <<http://www.leonardo-energy.org.br/eventos/dimensionamento-economico-nbr-15920-e-ambiental-de-condutores-eletricos-aplicado-a-edificios-residenciais-hoteis-shoppings-e-outros-locais/>>. Acesso em: 20 maio 2014.

MORENO, Hilton. **Residências sustentáveis, NBR 5410, NBR 15920**. 2012. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/colunistas/hilton-moreno/951-residencias-sustentaveis-nbr-5410-nbr-15920.html>>. Acesso em: 20 maio 2014.

NAGALLI, André; TEIXEIRA, Celimar Azambuja; OKRASKA, Fernando Leopoldo. **Comparativo técnico e econômico entre obras comerciais com características sustentáveis e convencionais**. (s.d). Disponível em: <<http://www.interestruturas.com.br/artigo/comparativo-tecnico-e-economico-entre-obras-comerciais-com-caracteristicas-sustentaveis-e-convencionais>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

NEXANS. **Dimensionamento Ambiental de Condutores Elétricos**. 2013. Disponível em: <[http://www.nexans.com.br/eservice/Brazil-pt_BR/fileLibrary/Download_540223153/Brazil/files/dimensionamento ambiental maio 2013.pdf](http://www.nexans.com.br/eservice/Brazil-pt_BR/fileLibrary/Download_540223153/Brazil/files/dimensionamento_ambiental_mai_2013.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2014.

SANTOS, Jorge Ricardo dos. **Construção verde ou sustentável**. 2010. Disponível em: <<http://blog.render.com.br/diversos/construcao-verde-ou-sustentavel/>>. Acesso em: 30 abr. 2014.