

ESTUDO DA MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NUMA EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA FRENTE AO RECOMENDADO PELA NBR 16819 DE 2020?

Vinicius Stasiak¹, Artur Cardoso Severo²

Universidade La Salle

Canoas RS, Brasil

viniciusstasiak@gmail.com, artur.severo@unilasalle.edu.br

Abstract—A nova norma NBR 16819, elaborada no comitê técnico da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em abril de 2020, trata sobre a eficiência energética nos diversos tipos de projetos de instalações elétricas de baixa tensão, de forma a otimizar o uso global eficiente de eletricidade. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso em uma edificação para analisar a possibilidade de melhora em sua eficiência energética caso seja aplicada uma das recomendações da NBR 16819, especificamente a redução de perdas de energia nos condutores. A metodologia empregada neste trabalho fez uso da plataforma EXCEL para comparar dois cenários de dimensionamento de condutores elétricos da edificação. O cenário 1 corresponde ao uso de regras da norma NBR 5410, e o cenário 2 é baseado na norma NBR 15920. Os resultados mostraram que a aplicação das regras da NBR 15920 foi capaz de elevar em 75% a eficiência energética, em relação às perdas elétricas da edificação em análise. Além disso, a troca de condutores, mesmo que tenha um valor inicial alto, graças à economia trazida, tem retorno em cerca de 5 anos.

Keywords—Resultados; Energia; Eficiência; Perdas; Utilização.

I Introdução

Com a mudança de comportamento originada pela crise do coronavírus, muitas empresas e profissionais mudaram o foco e estilo de trabalho, visto que até então, a maioria dos postos de trabalho eram nas empresas e passaram a ser realizados de forma remota. Conforme essa tendência de teletrabalho se mantenha nos próximos anos, novas construções e projetos de edificações residenciais já devem estar preparados para atender esta nova demanda de mercado.

Nesse contexto pode-se citar que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou, em abril de 2020, a NBR 16819. Esta norma trata sobre a eficiência energética, tema este cada vez mais abordado e utilizado em novos projetos, buscando a eficiência dos sistemas com a implementação e utilização de gerenciamento inteligente aliado a questão do custo benefício.

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo de caso em uma edificação existente para definir se existe oportunidade de melhora em sua eficiência energética caso seja aplicada uma das recomendações da NBR 16819.

II NBR 16819

A NBR 16819 define os requisitos para o projeto, execução e verificação de todos os tipos de instalações elétricas de baixa tensão, de forma a otimizar o uso global eficiente de eletricidade. Assim, a Norma define os cálculos e medições necessários para que a gestão de energia de uma edificação seja eficiente, na medida em que existe uma maior disponibilidade de energia elétrica com qualidade e com equilíbrio econômico. Pode-se aplicar a referida Norma tanto a novas instalações como a outras preexistentes (ABNT, 2020).

A eficiência da energia elétrica (EEE) é definida como uma abordagem sistêmica cujo objetivo é otimizar o uso de eletricidade. Em geral, leva-se em consideração o consumo da instalação em quilowatt-hora (kWh), o valor da tecnologia de geração da eletricidade e o impacto ambiental de ambos (ABNT, 2020). Fica evidente que a EEE busca um equilíbrio da relação custo benefício entre a geração e o uso de energia elétrica.

Para a realização do projeto de EEE em uma edificação é necessário primeiro determinar o perfil de carga ativa e passiva dessa instalação. Para isso, basta descobrir as principais demandas de carga do local. Outra etapa desse projeto é a análise da disponibilidade de geração local, com preferência por opções renováveis, como solar ou eólica. A etapa seguinte é a redução das perdas de energia na instalação elétrica, o que pode ser feito a partir da projeção do melhor local para instalação do transformador e do quadro de distribuição pelo método do baricentro ou ainda pela diminuição das perdas nos condutores, entre outras opções. A disposição dos circuitos também interfere na otimização da EEE, assim como o fato de o consumidor utilizar a energia conforme sua necessidade, sem desperdícios. E por fim, a estrutura tarifária oferecida pelo fornecedor de energia elétrica é outra das variáveis que devem ser analisadas para esse tipo de projeto (ABNT, 2020).

[1] Graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade La Salle de Canoas/RS. Artigo apresentado ao Bacharelado em Engenharia Elétrica como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel.

[2] Prof. MSc. Orientador e Professor dos cursos de Engenharia de Computação, Elétrica e Telecomunicações da Universidade La Salle de Canoas/R

III Materiais e Métodos

A metodologia empregada neste trabalho se fundamenta em critérios de eficiência energética determinada pela NBR 16819, especificamente no critério redução de perdas de energia nos condutores. Para isso, foram comparados dois tipos de dimensionamento de condutores elétricos, cada um deles correspondendo a um cenário. O cenário 1 corresponde ao dimensionamento a partir de regras da norma NBR 5410, e o cenário 2 é baseado na norma NBR 15920.

Os resultados econômicos e de eficiência energética dos condutores escolhidos em cada um dos cenários foram comparados para definir qual a melhor configuração para a edificação do estudo de caso.

A plataforma EXCEL, da Microsoft que está contida no pacote Office, foi utilizada para a realização de todos os cálculos pertinentes a esta pesquisa. As equações utilizadas para os dimensionamentos foram obtidas nas normas NBR 5410 e NBR 15920 e utilizaram como parâmetros os dados da instalação elétrica e de medições realizadas no local do estudo de caso.

Local de Estudo

O local escolhido para o estudo de caso foi uma edificação comercial, com dois subsolos, térreo, 6 andares e uma cobertura. O projeto elétrico dessa edificação conta com 37 circuitos no Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT), sendo 14 deles para reserva de fase. Existe ainda um circuito separado para o sistema de incêndio.

Esse trabalho irá analisar os 23 circuitos com fins específicos determinados no QGBT da edificação. A análise iniciou-se a partir da determinação dos comprimentos de cada um desses circuitos. Tais comprimentos consideraram a distância (L) em metros, entre o QGBT e os respectivos Quadros de Distribuição (QD) de cada um dos circuitos considerados.

Os valores de L foram obtidos a partir de medições das plantas baixas das edificações com auxílio de ferramentas do software AUTOCAD. A tais valores medidos na horizontal foram somadas as distâncias verticais, com a altura de cada andar considerada como 3,8 m e a altura de instalação de cada quadro com 1,5 m.

Certos parâmetros necessários para os dimensionamentos dos condutores da instalação foram obtidos conforme seu projeto, enquanto outros foram medidos ou calculados a partir de medições realizadas no local de estudo.

A potência instalada (Pi) dos circuitos foi obtida a partir do projeto dessa instalação. Já a demanda máxima (Dm) foi obtida a partir da multiplicação da demanda instalada pelo fator de demanda. O fator de potência (FP) foi estimado pelo projeto, enquanto o fator de carga (FC) foi estimado a partir da medição da demanda média registrada em um período de 1 mês dividida pela demanda máxima no mesmo período. A energia consumida (Ec) anualmente é resultado da multiplicação da demanda máxima pelo fator de carga e pelas horas de uso em 1 ano. No caso das horas de uso, foi estabelecido um valor de 24 horas por 365 dias, gerando um

total de 8760 horas/ano. A tabela 1 mostra os circuitos representados pelos seus respectivos códigos de identificação (ID) e os principais parâmetros necessários para os posteriores dimensionamentos.

Tabela 1 – Circuitos e seus principais parâmetros da instalação elétrica

ID	CARGA	L (m)	Pi (W)	Dm (kW)	FP	FC	Ec (kWh/ano)
G01	Alimentador QDIT-S2	31,66	9,03E+03	7,76E+03	0,95	1	6,80E+07
G02	Alimentador QDIT-S1	31,68	1,37E+04	1,18E+04	0,95	0,6	6,19E+07
G03	Alimentador QDIT-TE	35,34	1,32E+04	1,13E+04	0,95	0,5	4,96E+07
G04	Alimentador QDEE-TE	35,55	1,68E+04	1,68E+04	0,92	0,6	8,80E+07
G05	Alimentador QD -MP	47,59	6,00E+03	6,00E+03	0,98	0,5	2,63E+07
G06	Alimentador QD -DP	50,15	6,00E+03	6,00E+03	0,98	0,5	2,63E+07
G07	Alimentador QD-OAB	54,47	6,00E+03	6,00E+03	0,98	0,6	3,15E+07
G08	Alimentador QD-PAB1	60,45	6,00E+03	6,00E+03	0,98	0,6	3,15E+07
G09	Alimentador QD-PAB2	65,47	6,00E+03	6,00E+03	0,98	0,8	4,20E+07
G10	Alimentador QDIT-2P	35,37	1,78E+04	1,53E+04	0,95	0,5	6,70E+07
G11	Alimentador QDEE-2P	35,59	1,63E+04	1,63E+04	0,92	0,6	8,54E+07
G12	Alimentador QDIT-3P	35,41	1,78E+04	1,53E+04	0,95	0,6	8,04E+07
G13	Alimentador QDEE-3P	35,63	1,63E+04	1,63E+04	0,92	0,6	8,54E+07
G14	Alimentador QDIT-4P	35,45	1,78E+04	1,53E+04	0,95	0,6	8,04E+07
G15	Alimentador QDEE-4P	35,67	1,63E+04	1,63E+04	0,92	0,5	7,12E+07
G16	Alimentador QDIT-5P	35,49	1,78E+04	1,53E+04	0,95	0,8	1,07E+08
G17	Alimentador QDEE-5P	35,70	1,63E+04	1,63E+04	0,92	0,6	8,54E+07
G18	Alimentador QDIT-6P	35,53	1,90E+04	1,63E+04	0,95	0,5	7,15E+07
G19	Alimentador QDEE-6P	35,74	1,63E+04	1,63E+04	0,92	0,8	1,14E+08
G20	Alimentador QFAC	41,47	1,25E+05	1,25E+05	0,92	0,5	5,45E+08
G21	Alimentador QF-ELEVADOR1	40,72	1,80E+04	1,80E+04	0,92	0,6	9,46E+07
G22	Alimentador QF-ELEVADOR2	41,25	1,80E+04	1,80E+04	0,92	0,8	1,26E+08
G23	Alimentador QF-BOMBA RECALQUE	29,16	1,43E+03	1,43E+03	0,92	0,6	7,52E+06

Fonte: Autor

A partir desses dados iniciais e outros necessários conforme a respectiva norma, os cenários 1 e 2 de dimensionamento foram calculados.

Dimensionamento NBR 5410

A NBR 5410, da ABNT (2004) é tradicionalmente usada no Brasil para dimensionamento de circuitos elétricos em geral. Conforme Brandão (2018), a NBR 5410 define que os condutores selecionados devem satisfazer simultaneamente a capacidade de queda de tensão, os limites de queda de tensão e a capacidade de condução de corrente de curto-circuito por tempo limitado.

Com base nisso, pode-se definir uma série de passos a serem seguidos para a realização desse tipo de dimensionamento. Primeiramente, com base na tabela 33 dessa norma a maneira de instalar os condutores é escolhida. Em seguida, a tabela 47 da norma dita as seções mínimas que devem ser atendidas para o projeto. Após isso, a corrente (I) deve ser calculada a partir da equação 1:

$$I = P/V \quad (1)$$

Onde:

I = Corrente (A);

P = Potência instalada (W);

V = Tensão da rede (V).

Com base na corrente pode-se analisar a tabela do fabricante de preferência para escolher a bitola do condutor, de acordo com a capacidade de condução de corrente, aplicando-se os fatores de correção conforme as temperaturas ambientes e o agrupamento de condutores.

A partir da bitola escolhida, a mesma é verificada pelo critério da queda de tensão admissível, conforme o item 6.2.7 da norma, a partir da equação 2:

$$S = 2 * I * FP * L / \rho_{20} * V * q \quad (2)$$

Onde:

S = Seção do condutor (mm²);

FP = Fator de potência;

L = Comprimento do circuito (m);

ρ_{20} = constante de resistividade do cobre a 20 °C (Ω m);

q = Queda de tensão (%).

Por fim, comparam-se as seções definidas pelos métodos apresentados e o condutor a ser escolhido é o de maior seção. A partir desses passos, pode-se aplicá-los na situação do estudo de caso. A tensão da rede é de 380/220 e os cabos a serem escolhidas as seções foram do tipo Afumex Unipolar da Prysmiam, com isolamento em EPR 0,6/1kV. A queda de tensão definida para o projeto foi de 4%, enquanto o valor de ρ_{20} é $1,84 \cdot 10^{-8}$ (Ω .m). A tabela 2 mostra os resultados de dimensionamento conforme a NBR 5410 conforme os dados da edificação em estudo.

Tabela 2 – Dimensionamento dos condutores conforme a NBR 5410

ID	I (A)	L (m)	S (mm ²)	ID	I (A)	L (m)	S (mm ²)
G01	12,42	31,66	4	G11	26,83	35,59	6
G02	18,82	31,68	4	G12	24,45	35,41	6
G03	18,1	35,34	6	G13	26,83	35,63	6
G04	27,65	35,55	10	G14	24,45	35,45	6
G05	9,3	47,59	6	G15	26,83	35,67	6
G06	9,3	50,15	6	G16	24,45	35,49	6
G07	9,3	54,47	6	G17	26,83	35,70	6
G08	9,3	60,45	6	G18	26,09	35,53	6
G09	9,3	65,47	6	G19	26,83	35,74	6
G10	24,45	35,37	6	G20	205,6	41,47	150
				G21	29,73	40,72	10
				G22	29,73	41,25	10
				G23	2,36	29,16	4

Fonte: Autor

A tabela 2 mostra a corrente calculada a partir da equação 1 para cada circuito, conforme seus códigos mostrados pela

primeira coluna. O comprimento foi novamente mostrado pois fez parte dos cálculos que definiram as seções escolhidas para os condutores.

Dimensionamento NBR 15920

A norma NBR 15920 possui como fim determinar a seção de cabos condutores considerando o custo das perdas que irão ocorrer durante sua vida útil em relação ao seu custo inicial. Por isso, essa norma é conhecida por determinar as seções econômicas de cabos para os diversos tipos de projetos de instalações elétricas (BRANDÃO, 2018).

A norma usa duas abordagens, uma que usa a faixa econômica de correntes para cada condutor de uma série de seções e a outra define a seção econômica de um condutor para uma dada carga (ABNT, 2011). O presente trabalho irá usar o segundo método, definindo uma seção econômica para cada um dos circuitos da instalação em análise.

O custo total de instalar e operar um condutor é calculado conforme a equação 3:

$$CT = CI + CJ \quad (3)$$

Onde:

CT = Custo total do cabo (R\$);

CI = Custo inicial do cabo instalado cuja seção está sendo considerada (R\$);

CJ = Custo equivalente as perdas por Joule durante a vida econômica de N anos a partir da data de aquisição (R\$).

Para a realização dos cálculos, CI é ajustado em função do tipo do cabo e seção transversal, como mostra a equação 4:

$$CI_{(S)} = L * (A * S + C) \quad (4)$$

Onde:

A = Componente variável do custo (R\$/m.mm²);

C = Componente constante do custo (R\$/m).

O custo equivalente as perdas por Joule durante a vida econômica de N anos a partir da data de aquisição é calculado pela equação 5:

$$CJ_{(S)} = I_{\text{máx.}} * 2 * R * L * F \quad (5)$$

Onde:

$I_{\text{máx.}}$ = Corrente de projeto máxima prevista para o circuito no primeiro ano (A);

R = Resistência CA aparente do condutor por unidade de comprimento (Ω /m);

F = Variável auxiliar (W/R\$).

Como serão analisadas diferentes seções de condutores, a NBR 15920 indica que os parâmetros financeiros devem ser expressados em função de uma variável F:

$$F = N_p * N_c * (T * P + D) * \left(\frac{q}{(1 + \frac{t}{100})} \right) \quad (6)$$

Onde:

N_p = número de condutores por fase do 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\$/Wh);

D = variação anual da demanda (R\$/Wano);

i = taxa de capitalização para condições atuais (%);

Q = variável auxiliar.

Q é um coeficiente que leva em conta o aumento da carga, o aumento no custo da energia durante N anos e a taxa de capitalização, como mostra a equação 7:

$$Q = \frac{1 - r^N}{1 - r} \quad (7)$$

O valor de r é dado pela equação 8:

$$r = \frac{(1+a/100)^2 * (1+b/100)}{(1+i/100)} \quad (8)$$

Onde:

a = aumento anual de carga (%);

b = aumento anual do custo de energia, sem considerar a inflação (%).

Pode-se então calcular a seção econômica de um condutor, pela equação 9:

$$S_{ec} = 1000 * \left\{ \frac{I_{m\acute{a}x}^2 * F * \rho_{20} * B [1 + \alpha_{20}(\theta_m - 20)]}{A} \right\}^{0,5} \quad (9)$$

Onde:

S_{ec} = seção econômica do condutor (mm²);

α₂₀ = coeficiente de temperatura a 20 °C (K⁻¹);

θ_m = temperatura média de operação do condutor (°C);

B = 1.

Segundo ABNT (2011), o valor de B pode ser desconsiderado sem haver perdas significativas no resultado do cálculo, caso a NBR 15920 seja aplicada a cabos de baixa tensão. Por isso, este trabalho irá considerar B com valor unitário.

Conforme ABNT (2011), na ausência de informações mais precisas, θ_m pode ser calculado conforme a equação 10:

$$\theta_m = \frac{\theta - \theta_a}{3} + \theta_a \quad (10)$$

Onde:

θ = temperatura máxima nominal do condutor;

θ_a = temperatura ambiente média;

O fator 3 é empírico, conforme Anexo B da NBR 15920. (ABNT, 2011).

Segundo Michels (2015), em geral, o valor obtido para S_{ec} não é o mesmo de uma seção comercial, por isso, muitas vezes são comparados os valores de CT das duas seções comerciais mais próximas da obtida para decidir qual seção utilizar em um projeto. Para o cálculo de CT para as seções é necessária uma outra variável, a resistência aparente desse condutor, mostrada pela equação 11:

$$R_{(sec)} = \frac{\rho_{20} * B [1 + \alpha_{20}(\theta_m - 20)]}{S_{ec}} * 10^6 \quad (11)$$

Com base nos dois valores de CT calculados, escolhe-se a seção comercial que corresponde ao menor custo total.

Portanto, através da NBR 15920, a seção econômica de um circuito é a que possui o menor custo de investimento de aquisição, instalação e operação. No cálculo de custo total são

considerados os custos de aquisição e instalação dos cabos, as perdas e custos gerados que um condutor ocasiona devido ao efeito Joule (BRANDÃO, 2018).

Assim como no dimensionamento pela NBR 5410, os cabos escolhidos foram do tipo Afumex Unipolar da Prysmian, com isolamento em EPR 0,6/1kV. Para o cálculo da variável A foi necessário definir o preço de cada uma das seções de cabos, conforme o fabricante, e os valores de a mão de obra de instalação, em que foram utilizados os índices de mão de obra conforme TCPO – PINI e um custo médio da mão de obra de instalação de R\$ 20,00/hora. O valor de A é obtido a partir da média do custo por metro por cada seção.

Além do parâmetro A, outros necessários foram definidos conforme o projeto e outros foram calculados conforme as equações 5, 6, 7, 9 e 10. Todos são demonstrados pela tabela 3:

Tabela 3 - parâmetros iniciais

Parâmetros iniciais		
Número de anos de operação	N	30
Tempo de operação com perdas Joules	T	8.760
Número de condutores de fase por circuito	Np	3
Número de circuito que levam mesma carga	Nc	1
Aumento anual de carga	a	-
Aumento anual do custo de energia	b	3,00
Taxa de capitalização (sem inflação)	i	6,00
Custo de 1 watt-hora para a carga (tarifa verde)	P	0,0003
Variação anual de demanda	D	-
Variável auxiliar	A	1,362
Variável auxiliar	F	151,74
Resistividade elétrica do cobre a 20°C	ρ ₂₀	1,84E-08
Coeficiente de temperatura do cobre a 20°C	α ₂₀	4,03E-03
Variável auxiliar	B	1
Temperatura ambiente média	θ _a	40
Temperatura nominal máxima	θ	90
temperatura média de operação do condutor	θ _m	56,667
Variável auxiliar	r	0,972
Variável auxiliar	Q	20,401

Fonte: Autor

A partir dos parâmetros da tabela 3, foi possível aplicar a equação 8 para definir a seção econômica, e com base nela, foram escolhidas as duas seções comerciais mais próximas, uma de valor menor e outra de valor maior. Com base nessas seções foram calculados os respectivos valores de R_(sec) pela equação 11. A equação 3 foi usada para os cálculos dos CT correspondentes a cada seção escolhida. A partir daí, foi definida a seção com menor CT. A tabela 4 mostra os principais resultados desse dimensionamento, com as seções menores, suas respectivas resistências aparentes e valores de CT indicados, respectivamente, como SA, RA e CTA, o mesmo para os maiores, como SB, RB e CTB.

Tabela 4 – Dimensionamento pela NBR 15920

ID	Sec (mm ²)	SA (mm ²)	RA (Ω/m)	CTA (R\$)	SB (mm ²)	RB (Ω/m)	CTB (R\$)	S (mm ²)
G01	19,03	16	1,32E-03	1838,10	25	8,42E-04	1856,02	16
G02	28,83	25	8,42E-04	2666,55	35	6,02E-04	2679,47	25
G03	27,73	25	8,42E-04	2854,39	35	6,02E-04	2903,10	25
G04	42,36	35	6,02E-04	4339,02	50	4,21E-04	4418,95	35
G05	14,25	10	2,11E-03	2223,38	16	1,32E-03	2118,57	16
G06	14,25	10	2,11E-03	2342,88	16	1,32E-03	2232,44	16
G07	14,25	10	2,11E-03	2544,87	16	1,32E-03	2424,91	16
G08	14,25	10	2,11E-03	2824,16	16	1,32E-03	2691,03	16
G09	14,25	10	2,11E-03	3058,76	16	1,32E-03	2914,57	16
G10	37,46	35	6,02E-04	3778,95	50	4,21E-04	4020,05	35
G11	41,10	35	6,02E-04	4198,48	50	4,21E-04	4322,06	35
G12	37,46	35	6,02E-04	3783,01	50	4,21E-04	4024,36	35
G13	41,10	35	6,02E-04	4202,96	50	4,21E-04	4326,67	35
G14	37,46	35	6,02E-04	3787,07	50	4,21E-04	4028,68	35
G15	41,10	35	6,02E-04	4207,45	50	4,21E-04	4331,29	35
G16	37,46	35	6,02E-04	3791,13	50	4,21E-04	4033,00	35
G17	41,10	35	6,02E-04	4211,93	50	4,21E-04	4335,90	35
G18	39,97	35	6,02E-04	4064,06	50	4,21E-04	4225,53	35
G19	41,10	35	6,02E-04	4216,41	50	4,21E-04	4340,52	35
G20	315,00	300	7,02E-05	36238,17	400	5,27E-05	36563,86	300
G21	45,55	35	6,02E-04	5413,97	50	4,21E-04	5372,40	50
G22	45,55	35	6,02E-04	5483,44	50	4,21E-04	5441,33	50
G23	3,62	4	5,27E-03	452,92	6	3,51E-03	486,01	4

Fonte: Autor

A partir dos dados de dimensionamento de ambos os cenários, foram calculadas as perdas de energia nos circuitos, seus custos anuais, a diferença do cenário 2 em relação ao cenário 1, os custos iniciais em condutores de ambos os cenários, a diferença entre ambos os cenários e o retorno de investimento simples em anos. As equações de 12 a 15 mostram como esses resultados foram calculados

$$E = N * R_c * L * I^2 * t * FC \quad (12)$$

Onde:

R_c = resistência ôhmica do condutor de cobre a 90 °C (Ω / m).

$$C_p = P_t * V_e \quad (13)$$

Onde:

C_p = Custo de perdas (R\$/ano);P_t = Perdas totais (kWh/ano);V_e = Valor da energia (R\$/kWh).

$$C_i = V_s * L \quad (14)$$

Onde:

C_i = Custos iniciais por condutor (R\$);V_s = Valor da seção (R\$/m).

$$R_s = D_f / E_c \quad (15)$$

Onde:

R_s = Retorno de investimento simples (anos);D_f = Diferença para o cenário 1;E_c = Economia em relação ao cenário 1.

A partir dos dimensionamentos e equações apresentados nesta seção, os resultados deste trabalho foram calculados.

IV Resultados e Discussões

Os resultados dos cenários 1 e 2 foram obtidos a partir das tabelas 2 e 4 e da equação 12. O valor de R_c da equação 12 foi obtido da tabela do fabricante para as respectivas seções. A tabela 5 mostra esses resultados.

Tabela 5 – Resultados de perdas nos condutores elétricos para os cenários

CIRCUITOS		Cenário 1			Cenário 2		
ID	L (m)	S (mm ²)	RCA (90°) (Ω/km)	PERDAS (kWh/ano)	S (mm ²)	RCA (90°) (Ω/km)	PERDAS (kWh/ano)
G01	31,66	4	6,31	809,95	16	1,54	197,67
G02	31,68	4	6,31	1.116,37	25	0,995	176,04
G03	35,34	6	4,21	640,41	25	0,995	151,36
G04	35,55	10	2,43	1.041,42	35	0,707	303,00
G05	47,59	6	4,21	227,71	16	1,54	83,29
G06	50,15	6	4,21	239,95	16	1,54	87,77
G07	54,47	6	4,21	312,76	16	1,54	114,41
G08	60,45	6	4,21	347,08	16	1,54	126,96
G09	65,47	6	4,21	501,22	16	1,54	183,34
G10	35,37	6	4,21	1.169,84	35	0,707	196,45
G11	35,59	6	4,21	1.700,66	35	0,707	285,60
G12	35,41	6	4,21	1.405,31	35	0,707	236,00
G13	35,63	6	4,21	1.702,47	35	0,707	285,90
G14	35,45	6	4,21	1.406,82	35	0,707	236,25
G15	35,67	6	4,21	1.420,24	35	0,707	238,51
G16	35,49	6	4,21	1.877,77	35	0,707	315,34
G17	35,70	6	4,21	1.706,11	35	0,707	286,51
G18	35,53	6	4,21	1.337,76	35	0,707	224,65
G19	35,74	6	4,21	2.277,23	35	0,707	382,42
G20	41,47	150	0,17	3.892,75	300	0,0916	2109,92
G21	40,72	10	2,43	1.379,14	50	0,83	471,06
G22	41,25	10	2,43	1.862,44	50	0,83	636,14
G23	29,16	4	6,31	16,16	4	6,31	16,16
TOTAL				28.391,56			7.344,76
				%	100		25,9

Fonte: Autor

A partir da tabela 5 fica evidente que as perdas no cenário 1 foram significativamente maiores, com exceção do último circuito, que permaneceu com a mesma seção. Considerando o total de perdas, as seções definidas pelo cenário 2 obtém apenas cerca de 26% das perdas do caso do cenário 1. A partir disso, com base nas perdas, a escolha pelo cenário 2 é óbvia, uma vez que há aumento da eficiência energética da edificação ao longo de sua vida útil.

Para que esse projeto de mostre viável é necessário também avaliar o mesmo em seu âmbito econômico, por isso, foram usados os dados do fabricante e do circuito nas equações de

13 a 15. O valor de V_e da equação 13 foi a tarifa considerada com base na AS Eletropaulo - Grupo A4 – Verde, Fora de ponta em 2021. Os resultados obtidos são mostrados pela tabela 6:

Tabela 6 - Resultados econômicos

Cenário	Total de perdas (kWh/ano)	%	Custos (R\$/ano)	Diferença (R\$)	Investimento inicial (R\$)	Diferença (R\$)	Retorno de investimento simples (anos)
1	28391,56	100	R\$ 8.517,47	-	R\$ 21.003,26	-	-
2	7344,76	25,9	R\$ 2.203,43	R\$ 6.314,04	R\$ 55.549,57	R\$ 34.546,31	5,5

Fonte: Autor

Como mostra a tabela 8, os investimentos iniciais para o cenário 2 são significativamente mais altos que no cenário 1, entretanto, devido ao fato de trazer uma grande economia, o cenário 2 é capaz de obter um retorno desse investimento em pouco mais de 5 anos. Isso significa que este projeto se paga em cerca de um sexto de sua vida útil.

Com isso, fica evidente que o cenário 2 é não só o mais energeticamente eficiente como também é o mais economicamente vantajoso. Assim, a partir do uso de apenas uma das recomendações de eficiência energética elétrica da NBR 16819 foi possível obter uma possibilidade de significativo aumento da EEE da edificação em análise.

V Considerações Finais

A partir do que foi analisado ao longo do trabalho ficou evidente que a aplicação de ao menos parte das recomendações da NBR 16819 já eleva significativamente a eficiência energética de uma edificação. Conforme o estudo de caso apresentado, a aplicação do dimensionamento econômico dos condutores foi capaz de elevar em 75% a eficiência energética, em relação às perdas elétricas da edificação em análise. Além disso, a troca de condutores, mesmo que tenha um valor inicial alto, graças à economia trazida, tem retorno de cerca de 5 anos.

Como limitações deste estudo pode-se citar o fato de que a maioria dos dados referentes à instalação elétrica foram obtidos pelo projeto inicial e outros foram estimados, sendo que poucas medições foram realizadas. Por isso, os resultados

obtidos podem não ser totalmente condizente com a realidade da edificação. No entanto, como os resultados de aumento de eficiência foram similares aos encontrados por outros autores em trabalhos análogos, como Moreno e Starosta (2020), Brandão (2018) e Michels (2015), pode-se inferir que os resultados deste trabalho foram satisfatórios.

Com isso, pode-se ter como trabalhos futuros a aplicação de outros pontos da NBR 16819, como a implantação da gestão energética na mesma edificação, para verificar o quanto a eficiência energética desse edifício aumentaria.

VI Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15920: Cabos elétricos – Cálculo da corrente nominal – condição de operação – Otimização econômica das seções dos cabos de potência. Primeira edição, Rio de Janeiro: 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004. 3 p.

BRANDÃO, J. F. P. Análise da norma internacional de eficiência energética IEC 60364-8-1: viabilidade técnico-financeira de aplicação às instalações elétricas brasileiras. 2018. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MICHELS, G. A. B. Dimensionamento econômico de condutores elétricos aplicado a estudos de caso Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica – Área: Eletrotécnica) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2015.

MORENO, H.; STAROSTA, J. Estudo de caso de aplicação da norma NBR 16819. ICA/Procobre. 2020.