

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS ALIMENTADOS EM MÉDIA TENSÃO

Helder Miguel Dias Freitas

Dissertação de Projecto realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof.Dr. Helder Leite

Junho de 2008

Resumo

Este estudo explora as relações entre a envolvente ambiental em torno dos edifícios e todo o processo da transformação de tensão que é efectuada nos postos de transformação dos edifícios.

O Protocolo de Quioto veio tornar evidente as preocupações com as alterações climáticas, e promover soluções tendentes à redução dos gases de efeito estufa, preservando o equilíbrio ecológico e proporcionando uma melhoria da eficiência energética. Parte destas soluções passam por medidas a efectuar junto dos edifícios, (dado que estes são consumidores de uma parte significativa da energia produzida), designadamente:

- Escolha do transformador ideal baseado nas suas curvas de rendimento, para que opere no seu índice óptimo de carga;
- Investigar alternativas ao Hexafluoreto de Enxofre (SF_6) como meio de isolamento da aparelhagem de corte e protecção da média tensão, sabendo que este gás contribuiu para o aumento do efeito estufa;
- Implementação de energias renováveis nos edifícios.

Palavras-chave: eficiência energética, ambiente, efeito estufa, edifícios, transformador.

Abstract

This study explores the relationship between the environment around buildings and its voltage transformation at the transformer cabinet.

The Kyoto Protocol increases the concerns about the climatic change, and promotes solutions towards the reduction of the greenhouse gases, preserving the ecological balance and providing improvements on the energy efficiency. Part of these solutions comes in measures to take near the buildings (since they use a significant part of the produced energy), such as:

- Choose the ideal transformer based on its efficiency curves, in order to work on the optimal transformer load value;
- Investigate alternatives to Sulfur Hexafluoride (SF_6) as isolation of medium voltage switchgear, due the fact that increase the greenhouse effect;
- Implementation of renewable energies on buildings.

Key words: energy efficiency, environment, greenhouse effect, renewable energy.

Agradecimentos

Para a realização deste trabalho foram importantes os estímulos e apoios de diversas pessoas, a quem dirijo o meu profundo agradecimento.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais e irmã, em especial à minha mãe por todo o apoio, atenção e estímulo que me foram dados.

Ao Prof. Dr. Helder Leite, pelos ensinamentos ministrados na área deste estudo, pela simpatia, disponibilidade, orientação e acompanhamento desta dissertação.

Ao Eng. Pedro Lima e Eng. Hercílio Santos da Efacec AMT, pela visita às instalações da Efacec AMT e por toda a informação e conhecimentos fornecidos, assim como ao Eng. Paulo Pulido e Eng. Sérgio Sengo, pelo acesso e igualmente pelos conhecimentos transmitidos.

Também gostaria de deixar aqui expressos os meus agradecimentos a todos os amigos e colaboradores da Edifícios Saudáveis & Consultores, em especial ao Eng. Filipe Rocha e Eng.^a Marlene Miranda, pela total disponibilidade demonstrada e pelos conhecimentos transmitidos ao longo destes últimos meses.

Para finalizar, quero ainda agradecer à Tatiana Galiț por todo o apoio e carinho prestado e a todos os meus amigos que directa ou indirectamente me apoiaram em todo o processo de investigação e escrita deste trabalho.

Índice

Resumo.....	i
Abstract.....	iii
Agradecimentos.....	v
Índice.....	vii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas.....	xi
Introdução	1
1 Eficiência Energética dos Edifícios.....	3
2 Posto de Transformação de Edifícios Alimentados em Média Tensão.....	9
2.1 Características dos órgãos de corte e protecção	10
2.2 Transformadores de Potência dos postos de transformação.....	12
2.2.1 Conceito Gerais sobre transformadores de potência	12
2.2.2 Principais grandezas dos transformadores	13
2.2.3 Constituição e principais tipos de transformadores.....	15
2.2.4 Perdas nos enrolamentos e circuito magnético dos transformadores	18
2.2.5 Rendimento dos Transformadores: Índice Óptimo de Carga	20
2.2.6 Como aumentar o nível de eficiência dos transformadores?.....	22
2.2.7 Parâmetros de escolha baseados na potência nominal mais eficiente dos transformadores.....	23
2.2.8 Manutenção dos transformadores.....	24
2.3 Benefícios da produção local de energia reactiva na eficiência do edifício	25
2.4 Regulação manual de tensão	28
3 Meios Isolantes da Aparelhagem de Corte e Protecção de Média Tensão.....	31
3.1 Ar.....	33
3.2 Ar sintético	33
3.3 Azoto N ₂	33

3.4	Hexafluoreto de Enxofre (SF ₆).....	34
3.4.1	A molécula de SF ₆	34
3.4.2	Propriedades dielétricas do SF ₆	35
3.4.3	Benefício do SF ₆ como meio isolante na aparelhagem de média tensão.....	35
3.4.4	Sistema de monitorização do SF ₆	37
3.5	Vácuo	38
3.5.1	Disjuntores a Vácuo	38
3.5.2	Câmaras de extinção a vácuo e respectivos materiais de contacto.....	39
3.5.3	Propriedades dielétricas do Vácuo	39
4	Implementação de Energias Renováveis em Edifícios - Microgeração	43
4.1	Conceito de Microgeração.....	43
4.2	Microgeração: a mudança de paradigma do sistema eléctrico	44
4.3	Certificação da microgeração.....	46
4.3.1	Siglas e definições.....	46
4.3.2	Regime remuneratório.....	47
4.3.3	Registos no SRM.....	52
4.3.4	Pedido de certificado de exploração.....	53
4.3.5	Pedido de reinspecção	54
4.3.6	Dispensa de inspecção.....	54
4.3.7	Contrato de compra e venda de electricidade com o comercializador	55
4.3.8	Alteração da titularidade da instalação.....	55
4.3.9	Alteração da instalação.....	55
4.4	Viabilidade técnica da microgeração	56
4.4.1	Interligação à rede	57
4.5	Microgeração: Caso prático.....	59
5	Conclusões Finais e Trabalhos Futuros.....	65
5.1	Conclusão.....	65
5.2	Pistas para Investigações Futuras	66
	Referências.....	69

Lista de Figuras

Figura 1.1: Emissões de GEE e compromissos 2008-2012 em Portugal	3
Figura 1.2: Estratégias para o desenvolvimento sustentável	4
Figura 1.3: Consumos energéticos pelos diferentes tipos de consumidores	5
Figura 1.4: Consumo da energia eléctrica pelos diferentes tipos de consumidores.....	6
Figura 1.5: Etiqueta de certificação	6
Figura 2.1: Representação esquemática de um posto de transformação.....	9
Figura 2.2: Interruptor/seccionador	10
Figura 2.3: Tipos de disjuntores: a- disjuntor a vácuo e b- disjuntor a SF ₆	11
Figura 2.4: Quadros de distribuição compactos: a- isolados a ar e b- isolados a SF ₆	12
Figura 2.5: Determinação do valor médio da corrente de carga Ic	15
Figura 2.6: Transformador imerso em óleo	17
Figura 2.7: Constituição de um transformador trifásico de distribuição.....	18
Figura 2.8: Perdas num transformador em função do índice de carga	19
Figura 2.9: Variação do rendimento dos transformadores com o índice de carga.....	21
Figura 2.10: Esquema representativo da compensação local do factor de potência	27
Figura 2.11: Esquema de compensação global do factor de potência	27
Figura 3.1: Metas e valores atingidos da redução de emissão de SF ₆	32
Figura 3.2: Representação por sequências da extinção do arco eléctrico em SF ₆	36
Figura 3.3: Sistema de monitorização do SF ₆	37
Figura 3.4: Evolução dos meios de extinção de disjuntores de média tensão no mundo ...	38
Figura 3.5: Corte de uma câmara a vácuo moderna	39
Figura 3.6: Característica dieléctrica dos diferentes meios isolantes	40

Figura 4.1: Valor anual da potência de ligação registrada a nível nacional.....	49
Figura 4.2: Evolução da tarifa de remuneração	50
Figura 4.3: Esquema simplificado duma micro-rede	58

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Valores Standard das tensões primária e secundária dos transformadores	14
Tabela 2.2: Regime de funcionamento de um transformador com o índice de carga	15
Tabela 2.3: Características dos transformadores de potência	16
Tabela 2.4: Perdas de um transformador de 250kVA com diferentes anos de fabrico	20
Tabela 2.5: Opções para a escolha da potência nominal dos transformadores	23
Tabela 2.6: Análise do custo das perdas verificadas nos transformadores	24
Tabela 4.1: Tarifário do regime bonificado	49
Tabela 4.2: Dados do projecto de uma instalação Solar Fotovoltaica.....	60
Tabela 4.3: Dados do projecto de uma instalação micro eólica	61
Tabela 4.4: Dados do projecto da instalação híbrida	62

Abreviaturas

AIE	- Agência Internacional de Energia
AT	- Alta Tensão
BT	- Baixa Tensão
CCE	- Centro de Conservação da Energia
SCE	- Certificação Energética de Edifícios
CO ₂	- Dióxido de Carbono
EDP	- Electricidade de Portugal
EPA	- Environmental Protection Agency
GEE	- Gases de Efeito Estufa
GWP	- Global Warming Potential over a time period of 100 years
MT	- Média Tensão
CH ₄	- Metano
MAT	- Muito Alta Tensão
NOX	- Óxido de Nitrogénio
PT	- Posto de Transformação
PIB	- Produto Interno Bruto
QGBT	- Quadro Geral de Baixa Tensão
RI	- Radiação Infravermelha
RNT	- Rede Nacional de Transporte
RCCTE	- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	- Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifício

SF ₆	- Hexafluoreto de Enxofre
TIR	- Taxa Interna de Rentabilidade
URE	- Utilização Racional de Energia
VAL	- Valor Actual Liquido
WADE	- World Alliance Decentralized Energy

Introdução

O presente trabalho tem por tema “Análise da Eficiência Energética em Edifícios alimentados em Média Tensão”. Este tema trata de uma matéria bastante actual, relacionando-se com a experiência profissional do autor enquanto estagiário da empresa Edifícios Saudáveis Consultores, cuja actividade consiste na prestação de serviços nas áreas da eficiência energética e qualidade do ambiente interior em edifícios. Daqui resulta a motivação sentida para abordar temáticas inseridas nesta área nos aspectos teóricos e práticos.

A temática da eficiência energética continua a ser um tema interessante e contemporâneo, uma vez que a gestão dos recursos de energia é hoje um dos principais desafios que, a nível mundial, a sociedade moderna enfrenta. A maneira como utilizamos a energia de que dispomos é uma questão chave neste processo, e por isso o aumento da eficiência energética das operações nas empresas é imprescindível para se atingir os objectivos do novo modelo de desenvolvimento, tanto pela diminuição da intensidade energética global, como pelo aumento dos correspondentes resultados económicos.

O desenvolvimento económico prevalecente nas últimas décadas caracterizou-se pela utilização muito intensa de energia produzida a partir de recursos de origem fóssil. A natureza finita desses recursos naturais, e o impacto ambiental da sua produção e consumo, alertaram o mundo para a necessidade de mudança dessas premissas de suporte ao modelo de desenvolvimento.

O desafio é enorme e a solução de longo prazo está longe de ser conhecida, mas no curto e médio prazo, a acção tem de passar pela procura de fontes alternativas de energia, com ênfase especial para as renováveis, e pelo aumento da eficiência na utilização das energias disponíveis.

Propõe-se com este trabalho investigar a envolvente ambiental em torno dos edifícios, procurando soluções que vão de encontro a uma melhoria da eficiência energética, sem nunca perder de vista o equilíbrio ecológico e a preservação da qualidade de vida da humanidade a nível global. A forma de prossecução destes objectivos passa por estudar:

Introdução

- Escolha do transformador baseado em curvas de rendimento;
- Alternativas ao SF₆ como meio de isolamento da aparelhagem de Média Tensão;
- Implementação de energias renováveis nos edifícios.

Assim, o capítulo 1 trata a temática da eficiência energética e sustentabilidade dos edifícios, associada à problemática das alterações climáticas.

No capítulo 2 apresenta-se a constituição de um posto de transformação dos edifícios alimentados em média tensão, evidenciando-se as características de cada um dos equipamentos que o integram.

No capítulo 3 faz-se um estudo comparativo dos meios isolantes utilizados na aparelhagem de corte e protecção de média tensão, destacando-se o Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) e o vácuo.

No capítulo 4 desenvolveu-se o estudo da implementação de energias renováveis nos edifícios, sob a forma de unidades de microgeração, finalizando-se com um caso prático de análise da viabilidade económica de três alternativas de investimento de microprodução.

Finalmente no capítulo 5 extraiu-se algumas conclusões do trabalho, apresentando pistas para investigações futuras.

1 Eficiência Energética dos Edifícios

A Energia e o Ambiente são hoje assuntos de grande importância e de uma actualidade sem precedentes. Temas como as alterações climáticas, as energias renováveis, o complexo problema das emissões de CO₂ e a garantia de abastecimento de cada vez maiores quantidades de energia, nas suas mais diversas formas, estão e continuarão a estar cada vez mais na ordem do dia. No sentido de controlar este fenómeno foi constituído o Protocolo de Quioto, em que foram impostos os níveis de redução de Gases de Efeito Estufa (GEE) aos países que o ratificaram, conforme ilustrado na Figura 1.1. A União Europeia constitui uma das signatárias do protocolo, comprometendo-se a reduzir, como um todo, em 8% as suas emissões de GEE, no período de 2008 a 2012, em relação aos níveis existentes no ano de referência (1990) [1].

Cada País é responsável pelo desenvolvimento de estratégias que permitam atingir as metas impostas. Estas estratégias passam certamente pelo aumento da eficiência energética, aumento do recurso a energias renováveis e a métodos de fixação de CO₂.

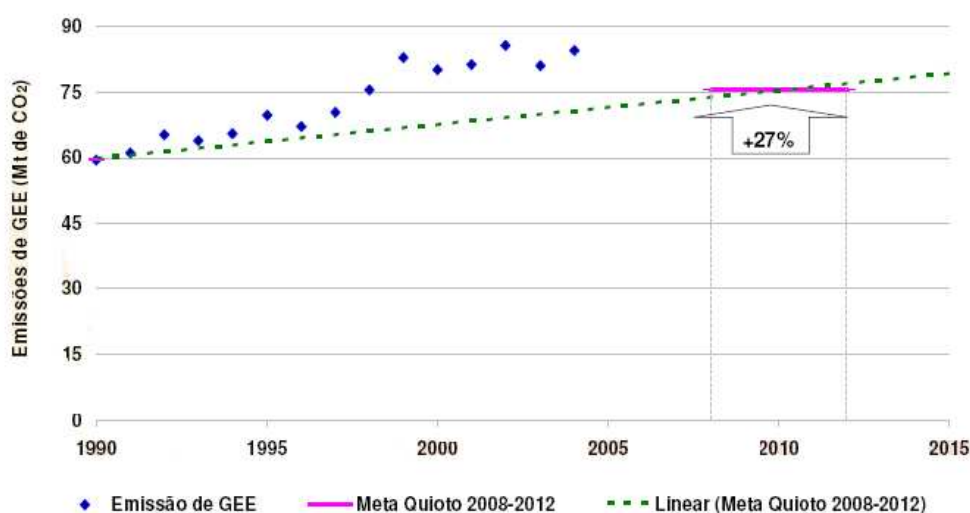


Figura 1.1: Emissões de GEE e compromissos 2008-2012 em Portugal [1]

A União Europeia tem vindo a expressar novos conceitos e sobretudo uma nova política energética baseada na consciencialização dos actores locais, incidindo numa prática de medidas de eficiência energética, na difusão das energias renováveis e na sensibilização cada vez maior

dos consumidores para os efeitos decorrentes da má utilização da energia e das suas consequências ao nível ambiental.

A substituição dos actuais sistemas de produção de energia a partir de recursos fósseis por sistemas de energias renováveis representa uma necessidade que se encontra cada vez mais presente. Não obstante, a adopção de práticas mais eficientes na gestão de energia deve ser uma prioridade, independentemente, do tipo de energia utilizada. A eficiência permitirá obter o mesmo nível de conforto com menor consumo energético.

Procura-se uma eficiência energética mais apurada, através da optimização da gestão da energia. A utilização racional de energia (URE) é essencial e deve acompanhar, senão antecipar, a implementação de renováveis num edifício

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu no final do século XX, pela constatação de que o desenvolvimento económico também tem que levar em conta o equilíbrio ecológico e a preservação da qualidade de vida das populações humanas a nível global. A ideia de desenvolvimento sustentável tem por base o princípio de que o Homem deve gastar os recursos naturais de acordo com a capacidade de renovação desses recursos, de modo a evitar o seu esgotamento. Assim, entende-se por desenvolvimento sustentável aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras fazerem o mesmo.

Apresenta-se na figura seguinte uma representação simbólica das estratégias a implementar para se atingir um correcto desenvolvimento sustentável.

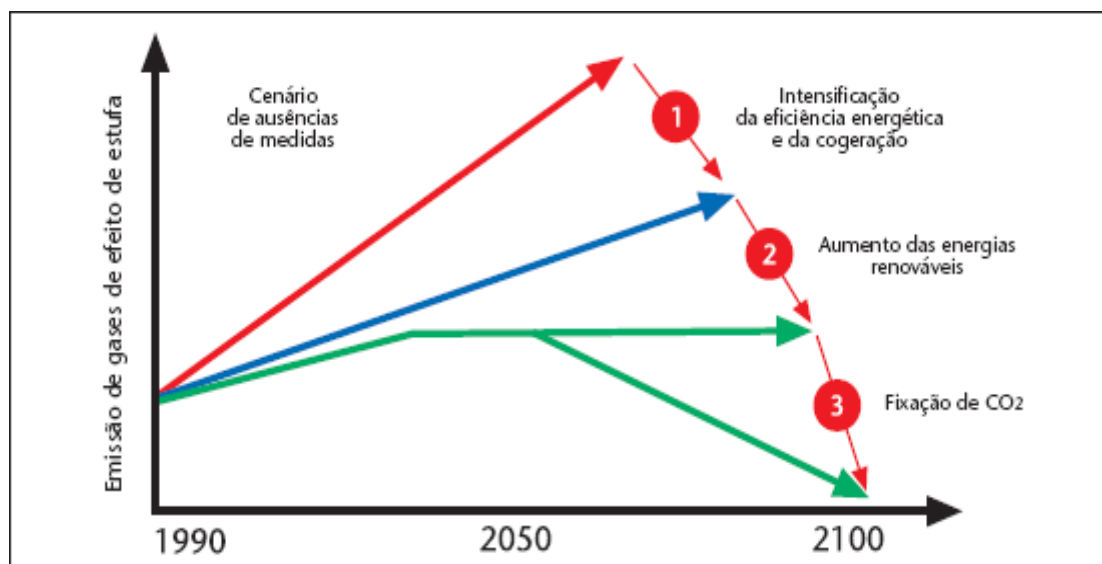


Figura 1.2: Estratégias para o desenvolvimento sustentável [1]

O sector energético tem sido um dos sectores que tem concentrado maior atenção por parte de decisores políticos, produtores, consumidores, associações de defesa do ambiente, bem como

de outras entidades e cidadãos em geral. A concepção e aplicação de uma política energética, e em particular de uma política para o sector eléctrico, coordenada e consistente com os objectivos da política de ambiente, no sentido de assegurar a sustentabilidade das interacções entre os sistemas económico e ecológico, insere-se num contexto de elevada complexidade técnica e política [2].

A utilização de energia em edifícios em Portugal tem vindo a crescer de forma significativa ao longo das últimas duas décadas. O sector dos edifícios é responsável por cerca de 30% do consumo de energia primária em Portugal, sendo que sensivelmente um terço desse consumo tem origem em edifícios não residenciais, como por exemplo, escritórios, instalações industriais, escolas, hospitais ou hotéis [3], cujo crescimento tem superado os 10% ao ano. Portugal é um dos países europeus que apresenta o mais elevado valor de intensidade energética, isto é, o que apresenta maior relação entre a energia consumida e o Produto Interno Bruto (PIB) [1].

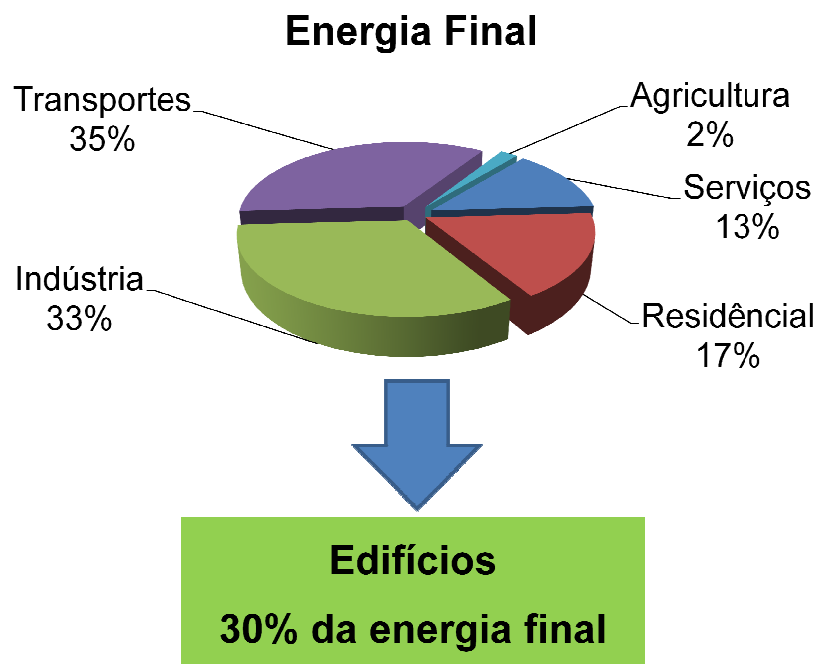


Figura 1.3: Consumos energéticos pelos diferentes tipos de consumidores [4]

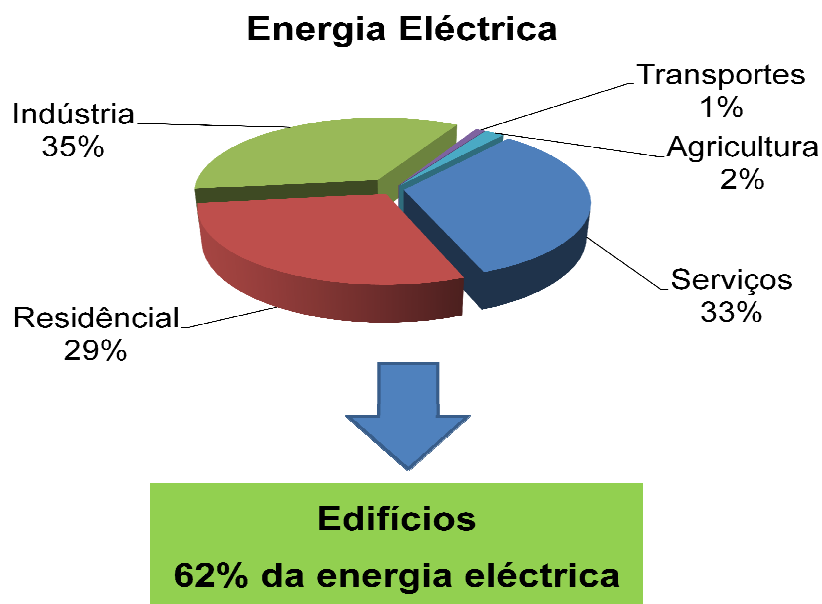


Figura 1.4: Consumo da energia eléctrica pelos diferentes tipos de consumidores [4]

Com a certificação energética pretende-se, para além de permitir uma maior informação sobre consumos de energia nos edifícios por parte dos seus utilizadores, introduzir um sistema de qualidade que dê uma garantia de aplicação correcta da regulamentação sem necessidade de infra-estruturas pesadas de verificação por parte da Administração Pública. Esta estratégia permitirá também a Portugal cumprir atempada e correctamente as exigências da proposta de Directiva Europeia para a Eficiência Energética nos Edifícios 2002/91/CE (EPBD), em fase final de aprovação pelas instituições comunitárias competentes.

Um dos mecanismos com maior potencial de contribuição para este controlo, em Portugal, é o novo mecanismo de certificação energética de edifícios (SCE) e seus regulamentos associados RSECE e RCCTE (decretos-lei DL 78, DL 79 e DL80 / 2006 respectivamente).

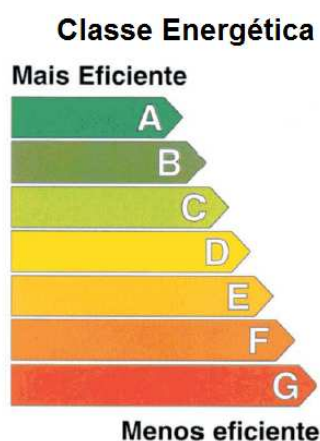


Figura 1.5: Etiqueta de certificação

A aplicação destes regulamentos é verificada em várias etapas ao longo do tempo de vida de um edifício, sendo essa verificação feita por peritos devidamente qualificados para o efeito. No

final dessa verificação será emitida uma etiqueta de certificação, conforme se ilustra na Figura 1.5, que representa a classe de eficiência energética atribuída a esse edifício, em que A corresponde ao melhor índice de eficiência energética e G consequentemente ao pior.

Sumário

Constata-se que as abordagens regulamentares têm sido as mais adoptadas pelas autoridades ambientais, nomeadamente ao nível comunitário e nacional, correspondendo a sua aplicação a estágios iniciais da política de ambiente, em que se pretende sobretudo garantir o cumprimento de objectivos ambientais.

Verifica-se assim uma tendência para a exigência de uma maior eficiência na utilização de recursos, para a adopção de compromissos exigentes de redução de emissões, para a imposição de tectos (nacionais e sectoriais) e valores limite de emissão de poluentes cada vez mais restritivos, e para a existência de maiores condicionantes à localização de actividades em zonas ecologicamente sensíveis.

Estas maiores exigências traduzir-se-ão forçosamente por um maior esforço de controlo ambiental para o sector eléctrico, dado o seu relevante contributo para os problemas ambientais.

Em síntese considera-se que as crescentes exigências ambientais com que o sector eléctrico se depara, implicam, um esforço cada vez maior no controlo dos impactes ambientais, com importantes custos para o sector, podendo, no entanto, ser encaradas como uma oportunidade para se adaptar e inovar, procurando novas soluções, mais eficientes em termos ambientais e económicos.

Torna-se assim fundamental a adopção de uma atitude proactiva por parte das empresas do sector eléctrico, que lhes permita antecipar as exigências ambientais e utilizá-las como factor de competitividade.

2 Posto de Transformação de Edifícios Alimentados em Média Tensão

Neste capítulo vai-se apresentar a constituição esquemática de um posto de transformação de edifícios alimentados em média tensão, evidenciando-se as características de cada um dos equipamentos que o integram.

Um posto de transformação (PT) conforme esquematizado na seguinte figura, é constituído por:

- Órgãos de corte e protecção
 - Interruptor/Seccionador;
 - Interruptor/Seccionador/Fusível ou Disjuntor;
 - Interruptor
- Transformador de Potência;
- QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão)

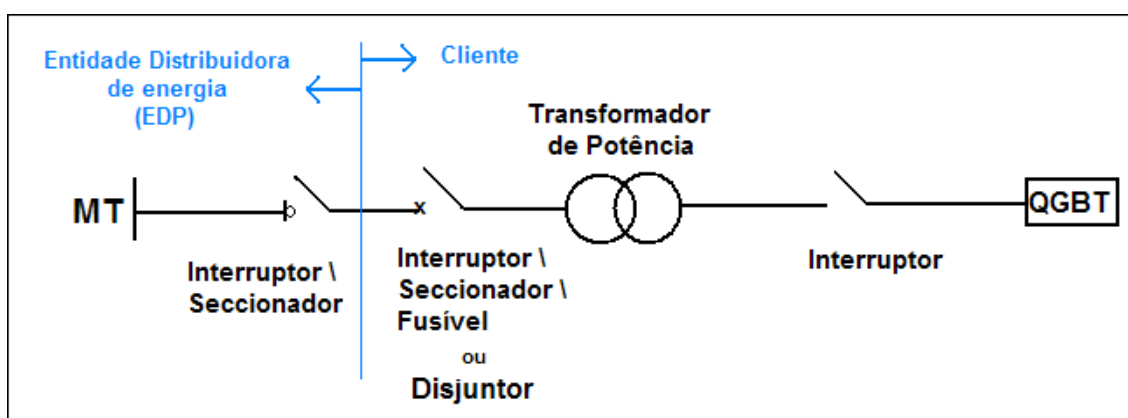


Figura 2.1: Representação esquemática de um posto de transformação

2.1 Características dos órgãos de corte e protecção

Nesta secção irão ser abordadas apenas as características de cada um dos órgãos de corte presentes num posto de transformação, enquanto que os seus meios de isolamento e respectivas características serão mencionadas com mais pormenor no capítulo seguinte.

A. Interruptor/Seccionador

Este é o primeiro equipamento do lado da média tensão presente num posto de transformação, tendo como função fazer o corte e seccionamento do PT. Este tipo de equipamento conforme se ilustra na Figura 2.2, apresenta as seguintes gamas de valores [5]:

- Tensão nominal até 36 kV
- Corrente nominal até 630 A
- Corrente curto-circuito (c.c.) até 16 kA

Nos postos de transformação de edifícios alimentados em média tensão este equipamento conforme demonstrado na Figura 2.1, apenas é acessível pela entidade distribuidora de energia que no caso português é predominantemente a EDP (Electricidade de Portugal), apesar de já começarem a aparecer outras companhias de distribuição de energia.



Figura 2.2: Interruptor/Seccionador [5]

O isolamento deste equipamento apenas é feito através de dois meios, a ar ou a SF_6 (Hexafluoreto de Enxofre), sendo que o corte feito a ar (mais antigo) não é tecnicamente tão eficiente e obriga a maiores dimensões do equipamento, o que hoje em dia representa um enorme problema, principalmente na parte arquitectónica do Edifício.

B. Disjuntor ou Interruptor/Seccionador/Fusível

Relativamente a estes equipamentos, sabe-se que ambos têm como função efectuar o corte e protecção do transformador. Se a opção for unicamente o disjuntor, esta apresenta-se como a solução mais dispendiosa, mas praticamente isenta de manutenção mesmo no caso de existir um curto-circuito e respectiva criação do arco eléctrico. No caso do interruptor/seccionador/fusível, verifica-se que é a opção mais económica, embora obrigue a uma substituição do fusível sempre que este actuar (fazendo a protecção), em caso de curto-circuito.

A escolha deste tipo de equipamento tem então duas vertentes: a económica e a ambiental. Em relação á vertente económica verifica-se, como anteriormente mencionado, que a escolha do interruptor/seccionador/fusível é a mais vantajosa. No que se refere à vertente ambiental, existe a possibilidade de fazer o isolamento do disjuntor a SF_6 ou a vácuo. Optando pelo vácuo, consegue-se eliminar o SF_6 em equipamentos acessíveis ao cliente, verificando-se assim ser esta a melhor opção. Este assunto será abordado de forma mais pormenorizada no capítulo seguinte.



Figura 2.3: Tipos de disjuntores: a- disjuntor a vácuo e b- disjuntor a SF_6 [6]

C. Interruptor

O interruptor é um aparelho de corte destinado à abertura e fecho de circuitos em vazio ou em carga. No caso concreto do interruptor do posto de transformação de média tensão, este actua apenas como medida de corte entre a parte primária e secundária do posto de transformação.

Os órgãos de corte e protecção mencionados anteriormente, quando fazem parte integrante de um posto de transformação no interior de um edificio, são geralmente inseridos dentro de

quadros de distribuição compactos, conforme se ilustra na Figura 2.4, proporcionando assim uma melhor segurança. Estes quadros de distribuição podem ser isolados a ar ou a SF₆.



Figura 2.4: Quadros de distribuição compactos: a- isolados a ar e b- isolados a SF₆ [5]

Dentro dos equipamentos que integram o posto de transformação, os transformadores de potência assumem particular importância, pelo que vamos tratá-los a seguir com algum pormenor.

2.2 Transformadores de Potência dos postos de transformação

Nesta secção faz-se uma análise geral aos transformadores de potência dos postos de transformação usados na distribuição de média tensão. Em Portugal os valores normalizados da gama de tensões da Média Tensão (MT) são, 10kV, 15kV e 30kV.

2.2.1 Conceito Gerais sobre transformadores de potência

O transformador de potência é um equipamento eléctrico que tem como objectivo adequar os níveis de tensão às necessidades produção, transmissão, distribuição e consumo de energia. O funcionamento do transformador é acompanhado por diversas perdas que acarretam custos na operação das redes de distribuição. A optimização do funcionamento do transformador tem como objectivo reduzir essas mesmas perdas, de modo a obter uma maior eficiência energética.

Situando-se os centros produtores de energia eléctrica normalmente bastante distanciados dos grandes centros de consumo, torna-se necessário efectuar o seu transporte para esses locais, reduzindo ao mínimo as perdas. Dado que estas são essencialmente perdas por efeito de Joule¹,

¹ $P_{\text{joule}} = R * I^2$

é conveniente reduzir a intensidade de corrente, aumentando os níveis de tensão. É por este motivo que o transporte de energia se faz essencialmente em níveis de tensão elevados – Muito Alta Tensão (M.A.T.) com tensões entre fases cujo valor eficaz é superior a 110kV ou Alta Tensão (A.T.) com tensão entre fases cujo valor eficaz é superior a 45kV e igual ou inferior a 110kV

A redução da intensidade de corrente de transporte, além de diminuir as perdas por efeito de Joule, permite ainda reduzir a secção dos condutores eléctricos, diminuindo assim o custo da instalação.

Junto dos centros de consumo, por uma razão de segurança e de economia, os níveis de tensão são reduzidos para valores sucessivamente mais baixos até se obterem os valores tradicionais de baixa tensão do consumidor doméstico (400V/230V). Um dos elementos primordiais deste processo é o transformador, que permite adaptar os diferentes níveis da tensão da rede de distribuição/transporte às necessidades de funcionamento dos diversos receptores.

2.2.2 Principais grandezas dos transformadores

As principais grandezas dos transformadores são: as tensões nominais de funcionamento, a relação de transformação, as suas potencias nominais e o índice de carga, as quais se passam a apresentar.

A. Tensões nominais

Num transformador existem pelo menos dois valores diferentes de tensões:

- **Tensão nominal do primário ou de entrada**, definida como a tensão que se estabelece no enrolamento primário durante o funcionamento nominal.
- **Tensão nominal do secundário ou de saída**, definida como a tensão que surge no enrolamento secundário, quando este funciona em vazio, estando ao primário aplicada a tensão e a frequência nominais.

Em carga, a tensão de saída é inferior à nominal em virtude das quedas de tensão nos enrolamentos. Assim, as tensões de saída são cerca de 5% superiores às normalizadas [7].

Tabela 2.1: Valores Standard das tensões primária e secundária dos transformadores

Tensões nominais de Entrada (kV)	Tensões nominais de Saída (kV)
6; 10; 15; 30	0,420 ²

B. Relação de transformação

A relação de transformação é definida como o quociente entre as tensões de entrada e saída.

C. Potências nominais

A potência nominal é definida através do valor da potência aparente, em kVA ou MVA, o qual serve de base para a construção do transformador. Esta potência designa-se por S_n e é igual a:

$$S_n = \sqrt{3} * U_n * I_n \quad (\text{kVA}) \quad (2.2)$$

em que:

I_n : corrente nominal expressa em A

U_n : tensão nominal expressa em kV

D. Índice de carga

Um transformador normalmente funciona em regime abaixo do nominal, sendo as correntes no primário e no secundário menores que os valores nominais, isto é, funciona sob um índice de carga C definido através da seguinte expressão

$$C = \frac{I_1}{I_{1n}} \approx \frac{I_2}{I_{2n}} \quad (2.3)$$

em que:

C : Índice de carga

I_1 : intensidade de corrente no primário

I_{1n} : intensidade de corrente nominal do primário

I_2 : Intensidade de corrente no secundário

² Outros valores por pedido

I_{2n} : Intensidade de corrente nominal do secundário.

Este parâmetro é muito importante pois dele dependem as perdas, permitindo-nos obter informações sobre o regime de funcionamento do transformador, conforme se indica na tabela seguinte.

Tabela 2.2: Regime de funcionamento de um transformador com o índice de carga

Índice de carga	Características	Utilização
$C < 1$	Regime folgado: correntes inferiores às nominais	Continua
$C > 1$	Regime de sobrecarga: correntes superiores às nominais originando sobreaquecimentos	Esporádica

Em virtude das flutuações das cargas durante o dia, os índices de carga dos transformadores variam, pelo que se determina o **índice de carga médio C médio** – que corresponde ao valor da corrente de carga média I_c que produz as mesmas perdas, tendo em conta as situações de carga reais. Assim,

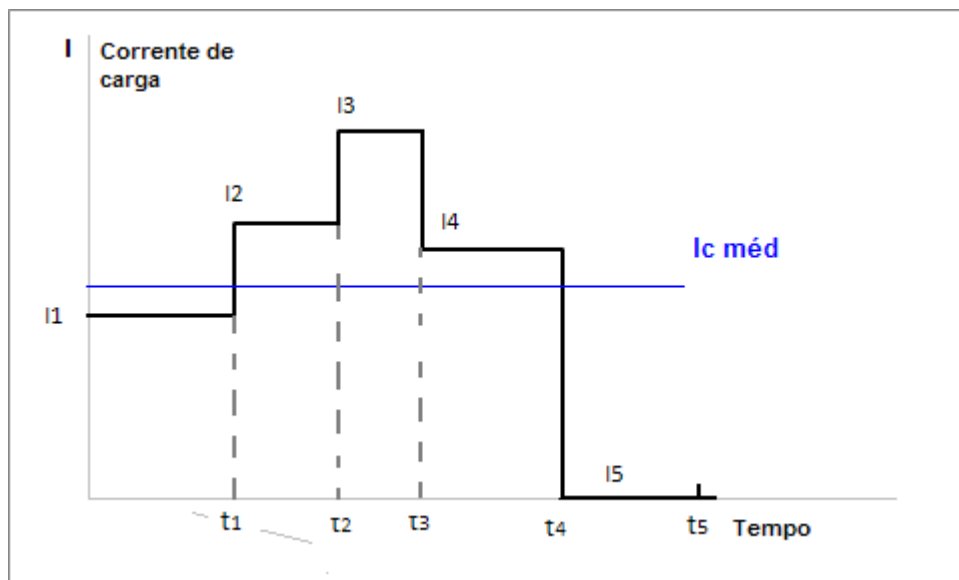


Figura 2.5: Determinação do valor médio da corrente de carga I_c [8]

2.2.3 Constituição e principais tipos de transformadores

As principais partes construtivas de um transformador de potência são:

- O núcleo magnético;

- Os enrolamentos em cobre electrolítico;
- O comutador de tomadas que deverá ser manobrado em vazio, actuando simultaneamente sobre as três fases, permitindo modificar a relação de transformação e consequentemente o valor da tensão no secundário;
- A cuba e os respectivos dispositivos de refrigeração;
- Os isolantes passantes

As perdas nos enrolamentos, no núcleo e noutros elementos do transformador, dão origem a aumentos de temperatura que é necessário dissipar de modo a que a temperatura no seu interior seja compatível com as características térmicas de funcionamento dos materiais constituintes.

Os principais refrigerantes que se utilizam, em contacto directo com os enrolamentos, são o ar e o óleo mineral. Este último, era vulgarmente substituído por um líquido especial, incombustível, denominado askarel, cuja utilização foi proibida devido ao facto de, a determinadas temperaturas, libertar gases altamente tóxicos.

Consoante o tipo de refrigeração utilizada, podemos classificar os transformadores em:

- Transformadores imersos em banho de óleo;
- Transformadores do tipo seco.

Tabela 2.3: Características dos transformadores de potência

Tipo de Transformador	Gama de Potência (kVA)³	Tensão Estipulada (kV)³
Transformadores imersos em óleo	De 5 até 10.000	Até 36
Transformadores do tipo seco	De 50 até 20.000	Até 36

A. Transformadores imersos em óleo

Neste tipo de transformadores conforma se mostra na Figura 2.6, o óleo existente tem uma dupla função, uma vez que simultaneamente actua como isolante e como refrigerante. É um óleo mineral, obtido da destilação fraccionada do petróleo, seguido de um processo de refinação.

³ Dados recolhidos da Siemens



Figura 2.6: Transformador imerso em óleo [5]

Devido ao constante avanço tecnológico verificado nos dias de hoje este tipo de transformadores tem actualmente poucas aplicações uma vez que apresentam um dieléctrico poluente, risco de incêndio e uma manutenção elevada, tendo sido por isso ultrapassados pelos transformadores do tipo seco.

B. Transformadores do tipo seco encapsulados no vácuo

Hoje em dia os transformadores do tipo seco destacam-se, pois são ecologicamente correctos, devido à total ausência de líquidos isolantes, não representam qualquer risco de explosão ou de fugas, além do fato de serem fabricados somente com materiais que não agredem o meio ambiente. Assim sendo, os transformadores do tipo seco representam a solução ideal e de máxima segurança para áreas onde há circulação de pessoas, como: edifícios de apartamentos e escritórios, hospitais, centros comerciais, indústrias, etc. Este tipo de transformadores substituiu quase por completo o uso de transformadores imersos em óleo nos postos de transformação de média tensão.

Além de não necessitarem de manutenção, estes transformadores possibilitam diversas economias no projecto eléctrico e civil quando comparados com os isolados a óleo de mesma potência, visto que ocupam cerca de 45% da área de 1 transformador a óleo. Podem, por exemplo, ser instalados junto aos centros de carga (descentralização de carga), o que gera uma grande contenção de despesas com cabos e respectivas protecções, além de ocupar uma menor área quando instalados em centros de transformação de média tensão. Outra grande vantagem é a isenção de descargas parciais internas até ao dobro da tensão nominal, factor preponderante para aumentar a vida útil do transformador a seco, que é igual ou superior à dos transformadores isolados em líquido (óleo) [9].

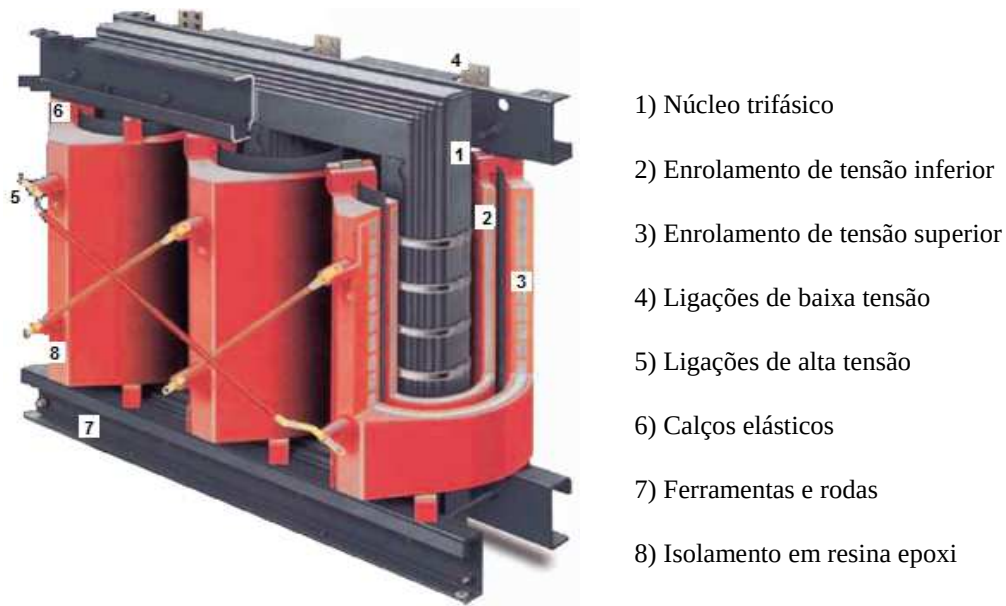


Figura 2.7: Constituição de um transformador trifásico de distribuição [9]

Os transformadores do tipo seco encapsulados a vácuo em resina epoxi [9] são construídos com materiais de difícil combustão e auto-extinguíveis, e caso sejam envolvidos em incêndios, não explodem nem liberam gases ou resíduos tóxicos, devido a inexistência do óleo isolante utilizado nos transformadores a óleo, além de não serem afectados pela humidade ambiental. Outra característica relevante é que suporta facilmente fortes sobrecargas, além de poder ser instalada ventilação forçada, que possibilita o aumento de sua capacidade nominal em até 50%.

2.2.4 Perdas nos enrolamentos e circuito magnético dos transformadores

Os transformadores de distribuição são máquinas de alto rendimento com eficiência em torno de 99%. No entanto, quando instalados em redes eléctricas, sob vários níveis de tensão de distribuição, o custo total das perdas na rede ainda é significativo [10].

Um estudo feito pelo *Instituto Leonardo Energy* [4] mostra que um terço das perdas em sistemas de distribuição e transmissão ocorrem em transformadores e dois terços no resto do sistema [11].

As perdas existentes nos transformadores são fundamentalmente de dois tipos:

- Perdas no ferro: P_o
- Perdas no cobre: P_{cu}

2.2.4.1 Perdas no Ferro ou Perdas no Circuito Magnético P_0

Estas perdas também chamadas **perdas em vazio**, são designadas por **P_0** e é aproximadamente constante qualquer que seja o regime de funcionamento do transformador. Ocorrem devido à corrente de magnetização do núcleo e apresentam duas componentes:

- Uma devida às correntes de foucault;
- Outra devida às perdas por histerese

2.2.4.2 Perdas no Cobre ou nos Enrolamentos

São perdas por efeito Joule devidas à passagem das correntes de magnetização e de carga, variando fortemente com o regime de carga do transformador. Uma vez conhecido o seu valor em regime nominal P_{cc} , quando o transformador funciona com um índice de carga genérico C , as perdas no cobre P_{cu} serão:

$$P_{cu} = C^2 * P_{cc} \quad (2.4)$$

em que **P_{cc} representa o valor das perdas no cobre em regime nominal.**

Deste modo, as **perdas totais de um transformador P_{perdas}** a funcionar sob um índice de carga C , serão:

$$P_{perdas} = P_0 + P_{cu} = P_0 + (C^2 * P_{cc}) \quad (2.5)$$

Assim podemos representar através do gráfico da Figura 2.8, a variação das perdas de um transformador para um índice de carga C qualquer.

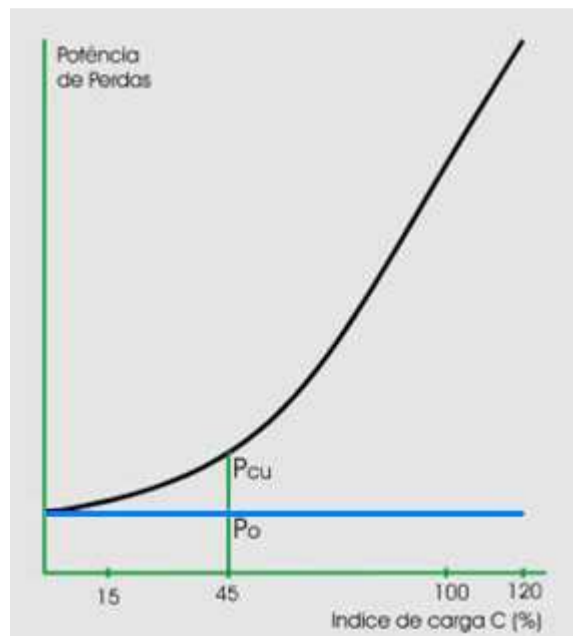


Figura 2.8: Perdas num transformador em função do índice de carga [12]

Da análise da Figura 2.8 pode-se concluir que as perdas totais de um transformador não são constantes, dependendo do índice de carga e aumentando com este.

Os fabricantes têm tentado minimizar estas perdas, e para se ter uma ideia da evolução, apresentam-se a Tabela 2.4, a título exemplificativo.

Tabela 2.4: Perdas de um transformador de 250kVA com diferentes anos de fabrico [13]

	Transf. 1960	Transf. 1975	Transf. Actual
Perdas no ferro (kW)	0,75	0,66	0,65
Perdas no cobre (kW)⁴	4,01	3,47	3,25
Rendimento $\frac{3}{4}$ da carga nominal (%)	98%	98,3%	98,4%
Perdas totais após um ano de funcionamento contínuo (kWh/ano)	26.329	22.880	21.708

A análise da Tabela 2.4 permite verificar que as perdas anuais dum transformador actual, são inferiores em 17.6% (4,621 kWh/ano), às dum transformador de 1960; muito embora o elevado investimento num novo transformador, não seja facilmente amortizado apenas pelas poupanças de energia geradas (cerca de 250€/ano, neste caso), este factor poderá ser mais um contributo, para uma tomada de decisão nesse sentido.

Complementarmente, e uma vez que, como se referiu atrás, as perdas no ferro, são constantes, independentemente do regime de carga do transformador. Desta forma e para evitar este tipo de perdas, o transformador deverá ser totalmente desligado da rede, caso esteja fora de serviço. Outra maneira de evitar as perdas em vazio é de reduzir o fluxo magnético (uma vez que nos transformadores o fluxo de fugas é mais elevado nas paredes do circuito magnético), instalando uma barreira física, (*aluminum electromagnetic shields*), entre o campo electromagnético e a região de interesse [10].

2.2.5 Rendimento dos Transformadores: Índice Óptimo de Carga

Independentemente do facto das perdas dos transformadores aumentarem com o índice de carga C , o seu rendimento não sofre alterações. Apresenta um valor máximo numa situação em que as perdas no ferro P_o igualam as perdas no cobre P_{cu} , que corresponde ao intervalo [40 a 50] % do índice de carga do transformador sendo por isso designado de índice óptimo de carga ($C_{\text{óptimo}}$), que é determinado pela seguinte relação:

⁴ Regime nominal

$$C_{\text{óptimo}} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{cu}}} \quad (2.6)$$

A relação P_0/P_{cu} diminui ao aumentar a potência nominal do transformador. Dependendo dos fabricantes, pode-se afirmar que, a partir de potências da ordem dos 50 kVA, o valor de P_0/P_{cu} é menor que 0,2 pelo que resultam valores de $C_{\text{óptimo}}$ menores que 0,45. Deste modo podemos concluir que os índices óptimos de carga que produzem rendimento máximo são baixos.

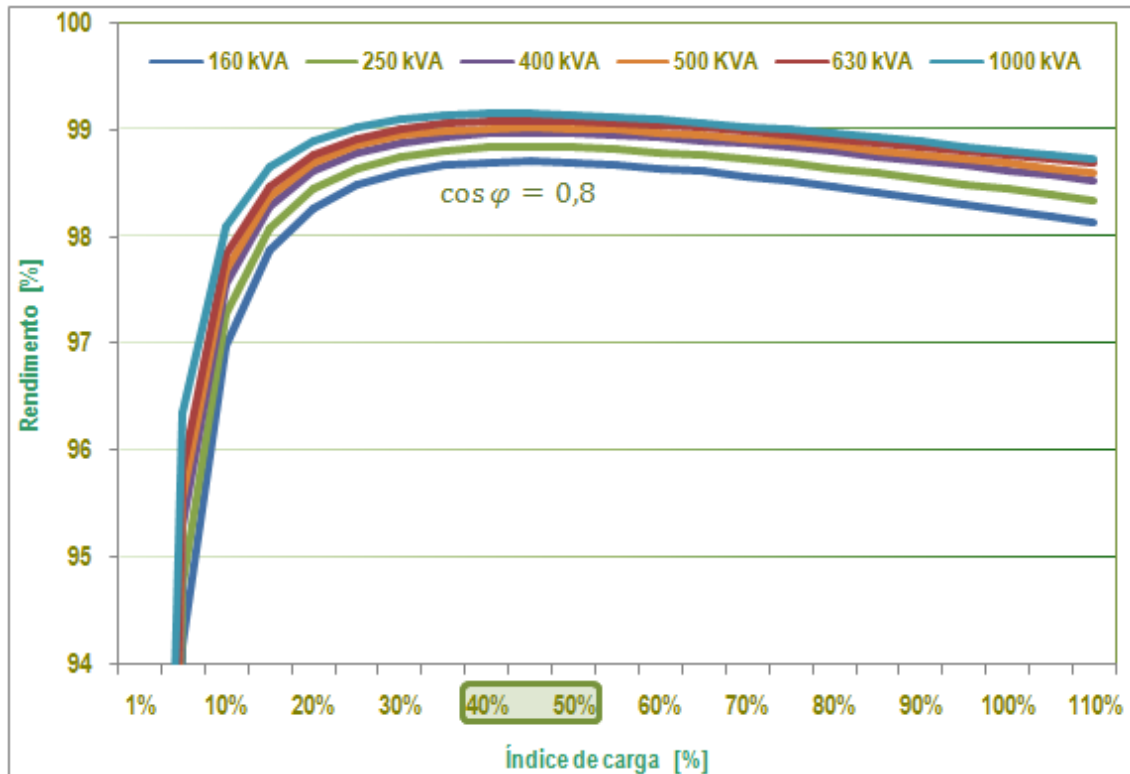


Figura 2.9: Variação do rendimento dos transformadores com o índice de carga

A análise da curva de rendimento do transformador, permite verificar que o valor máximo (cerca de 99%), é obtido para um patamar de carga, compreendido entre 40% a 50%, caindo cerca de 1%, quando o regime de carga se aproxima dos extremos (15% e 120%).

Desta forma os transformadores, contrariamente à maioria dos equipamentos, não devem trabalhar à sua capacidade nominal, sendo o valor óptimo aproximadamente 45% da carga; embora não seja a forma correcta de cálculo, a carga do transformador pode ser "avaliada", comparando a potência máxima absorvida pela instalação (potência tomada da factura) em kW com a potência nominal do transformador (kVA).

Caso seja detectado um regime de carga muito elevado em permanência, deverá ser encarada a hipótese de aquisição de outro transformador idêntico, pois para além das menores perdas energéticas, esta solução apresenta também outras vantagens, tais como: possibilidade de

funcionamento parcial da instalação, em caso de avaria dum transformador; melhor adaptação a eventuais ampliações e a regimes elevados.

Neste particular, é também de referir que deverão ser absolutamente evitados regimes (normais) de sobrecarga do transformador, sob pena de serem ultrapassadas as temperaturas máximas admissíveis para os isolantes; nestas condições, os isolantes poderão ser destruídos, resultando deste facto, avarias e acidentes nos transformadores.

Por último, face à permanente evolução tecnológica, é também de salientar que a utilização de transformadores com alguma idade, poderá traduzir-se por perdas energéticas suplementares.

2.2.6 Como aumentar o nível de eficiência dos transformadores?

O aumento da eficiência em transformadores depende das dimensões, da qualidade e da quantidade de material utilizado no núcleo e nos enrolamentos. Portanto, quando se pretende aumentar a eficiência de um transformador tem-se que reduzir as perdas em vazio e as perdas em carga [7].

A redução das perdas em vazio verifica-se ao nível do núcleo, que para ser mais eficiente deve ter maiores dimensões, reduzindo assim a densidade de fluxo magnético. O material das lâminas deve ser de alta qualidade, e a sua utilização no processo de fabricação deve ser adequado, de modo a não prejudicar os cristais magnéticos do material. A aplicação de material amorfo no núcleo, por exemplo, reduz em 70% as perdas em vazio.

Por seu lado a redução das perdas em carga verifica-se ao nível dos enrolamentos. Aumentando a área do fio de cobre ou alumínio obtêm-se uma densidade menor de corrente e, consequentemente, uma redução das perdas sob carga [14].

A este nível, até mesmo uma melhoria de 0,1% em eficiência, pode economizar biliões de kWh anualmente. Para respeitar e estar em sintonia com um padrão imposto nos Estados Unidos, a *National Electrical Manufacturers Association (NEMA)* desenvolveu um padrão voluntário (TP 1-1996), fixando os transformadores a seco a um mínimo de 98% da sua eficiência quando este se situa abaixo de 35% de carga. Este nível de eficiência leva a aproximadamente 1% de melhoria em relação aos transformadores standards desta classe. Em termos de energia desperdiçada, a passagem de 97% de eficiência para 98% representa uma melhoria de um terço (3% a 2% das perdas). Os transformadores de baixas perdas “*TranStar*” vão ainda mais longe, diminuindo ainda mais 25% das perdas de energias, obtendo 98.5% de eficiência a 35% carga [15].

2.2.7 Parâmetros de escolha baseados na potência nominal mais eficiente dos transformadores

Tendo como base a análise da curva de rendimento dos transformadores em função do índice de carga, representada na Figura 2.9, pode-se assim definir três opções de dimensionamento, analisadas na tabela seguinte.

Tabela 2.5: Opções para a escolha da potência nominal dos transformadores [7]

Opções	Características	Análise
1	Potencia nominal de modo que: $0,75 \leq C_{méd} \leq 0,8$	Vantagens: Menor investimento inicial. Desvantagens: Maiores perdas; Incapacidade de adaptação a regimes de sobrecarga elevados; Não garante continuidade de serviço em caso de defeito.
2	Potencia nominal de modo que: $C_{méd} \approx 0,45$	Vantagens: Menores perdas que se traduzem em custos de exploração baixos; Adaptação de futuras ampliações; Boa capacidade de adaptação a regimes de funcionamento de sobrecarga. Desvantagens: Maior investimento inicial relativamente à opção 1; Não garante continuidade de serviço em caso de defeito.
3	Dois transformadores de potência nominal idêntica à opção 1, de modo que: $C_{méd} \approx 0,45$	Vantagens: Menores perdas que se traduzem em custos de exploração baixos; Adaptação de futuras ampliações; Boa capacidade de adaptação a regimes de funcionamento de sobrecarga. Garantia de funcionamento parcial da instalação em caso de defeito. Desvantagens: Maior custo inicial em transformadores e aparelhagem; Maior espaço ocupado

Exemplo de Aplicação: Escolha do transformador ideal [8] para um caso concreto.

Supondo que se necessita de abastecer continuamente durante um ano – 8760 horas – uma potência média de 320kVA a 30kV, tendo em atenção as opções para a escolha da potência nominal dos transformadores presentes na tabela seguinte, constrói-se uma nova tabela onde estão analisados os valores relativos ao custo das perdas verificadas nos transformadores, tendo em conta a determinação da sua potência em função das opções referidas.

Tabela 2.6: Análise do custo das perdas verificadas nos transformadores

	Opção 1	Opção 2	Opção 3
Potência nominal (kVA)	400	800	2*400
Perdas no ferro (kW)	0,93	1,55	0,93
Perdas no cobre (kW)	4,60	8,20	4,60
Índice de carga $C_{méd}$ (S/Sn)	0,8	0,4	0,4
Perdas totais ano (kWh)	33.93	25.07	29.18
Custo anual das perdas (0,062€/kWh)	2104	1554	1810
Preço do transformador	9183	13.408	18.366
Diferença do custo das perdas face à opção 1 (€)	-	550	294
Recuperação do investimento face à opção 1 (ano)	-	7	31

Da análise da Tabela 2.6, verifica-se que, em casos em que a continuidade do serviço não seja uma necessidade primordial, a opção 2 do transformador de 800kVA é a preferível, visto que apresenta menores perdas e funciona em regime de carga ótimo (0,45).

É difícil avaliar de modo geral os gastos totais anuais das distintas soluções, pelo que cada instalação deverá ser sujeita a estudo.

2.2.8 Manutenção dos transformadores

A revisão dos aparelhos é um trabalho típico da manutenção. A economia de energia e as vantagens conseguidas mediante uma boa política de manutenção são difíceis de calcular e de quantificar. No entanto, uma manutenção permanente e eficaz, assim como um cumprimento rigoroso das prescrições de utilização dos diferentes equipamentos, apresentam as seguintes vantagens:

- Diminuição do número de avarias;
- Possível redução da gravidade das mesmas;
- Um rendimento mais elevado da instalação;
- Aumento da vida útil dos diferentes equipamentos.

Os trabalhos de manutenção são necessários e devem-se estender a todos os equipamentos, tendo sempre em conta as indicações dos fabricantes e instaladores, no que se refere ao funcionamento normal, valores típicos, condições de segurança de utilização, revisões e limpezas periódicas, etc.

2.2.8.1 Transformadores secos

Nas instalações podem ocorrer fugas de corrente que, assim sendo, originam um consumo de electricidade inútil, podendo provocar aquecimentos e perdas. É por isso importante medir-se a sua resistência de isolamento, determinada entre a terra e os condutores. Durante a verificação, os condutores, inclusive o neutro, estão isolados da terra e desligados da fonte de alimentação.

Se o transformador se mantém fora de funcionamento durante um largo período de tempo, o valor das resistências de isolamento medidas são menores que os valores indicados, pelo que deverá proceder-se à secagem dos enrolamentos do transformador.

Por outro lado, os transformadores secos devem manter-se livres de poeiras e de sujidade, pelo que devem ser sujeitos a operações de limpeza [7].

2.2.8.2 Transformadores imersos

O óleo degrada-se com o tempo e com a temperatura, apresentando tendência a oxidar-se e a polimerizar-se. Estes factos, juntamente com a absorção da humidade, provocam uma diminuição da sua rigidez dieléctrica, pelo que devem ser obtidas e analisadas com certa regularidade, amostras de óleo recolhidas com cuidado através de recipientes de vidro limpos e bem secos.

No ensaio é medida a tensão disruptiva entre eléctrodos a 2,5 mm, sendo o número de ensaios de descarga a realizar de 6, fazendo um intervalo de 2 minutos entre cada medida [7]. A tensão disruptiva considerada será o valor médio entre os ensaios 2 a 6, devendo tomar os seguintes valores:

- Maior que 60 k V para óleo não usado.
- Maior de 70 kV depois de determinado o tempo de serviço.

Se obtivermos valores inferiores aos indicados, deve-se depurar (limpar) o óleo com filtros especiais. Os fabricantes de transformadores e empresas especializadas, dispõem de máquinas adequadas para isto.

Além disto, deve-se comprovar o nível correcto do líquido tendo a certeza que se está sempre entre o nível mínimo (transformadores a frio) e o máximo (transformadores a quente).

2.3 Benefícios da produção local de energia reactiva na eficiência do edifício

Todo o sistema eléctrico que utilize corrente alternada pode consumir dois tipos de potência: Potência Activa (P) e Potência Reactiva (Q). Enquanto a potência activa realiza o

trabalho desejado, a potência reactiva não. Esta última serve apenas para alimentar os circuitos magnéticos dos dispositivos eléctricos. Assim quando é contratada uma determinada potência (kVA) ao distribuidor de energia, na maior parte dos casos, ela não é totalmente transformada em trabalho, especialmente em instalações onde existam receptores, cujo princípio de funcionamento assenta nos defeitos dos campos electromagnéticos (motores, transformadores, etc.) que consomem a energia reactiva indispensável ao seu funcionamento.

Isto corresponde a uma redução do rendimento eléctrico da instalação, indo originar, também, uma redução das possibilidades máximas de utilização dos alternadores, transformadores e da capacidade de transporte dos cabos.

O termo compensação do factor de potência, significa aumentar o factor de potência de uma instalação, tendo como objectivo primordial conseguir um factor de potência igual ou superior a 0,93, valor este não penalizável pela EDP [16].

Existe dois problemas principais que é necessário resolver. Em primeiro lugar, qual a potência reactiva que é necessário fornecer à instalação para obter o factor de potência desejado. O segundo, prende-se com o problema técnico de onde e como colocar o gerador autónomo de energia reactiva.

Embora o intuito final da correcção do factor de potência seja reduzir ou mesmo suprimir a parcela de energia reactiva na facturação de energia, impõe-se simplesmente que as baterias de condensadores, que geram uma potência reactiva oposta à consumida pelos transformadores, motores, iluminação fluorescente, sejam colocadas a jusante do posto de contagem. Estes podem, contudo, ser colocados em variados pontos de uma instalação e dois tipos de compensação podem ser considerados:

- A. Compensação local;
- B. Compensação global.

A. Compensação local

Os condensadores são ligados directamente aos bornes de cada receptor indutivo, isto é, junto às cargas consumidoras de energia reactiva.

Vantagens:

- Suprime as penalidades por consumo excessivo de energia reactiva;
- Optimiza toda a rede eléctrica. A corrente reactiva I_r é fornecida no lugar de consumo;
- Alivia o posto de transformação (potência disponível em kVAR).

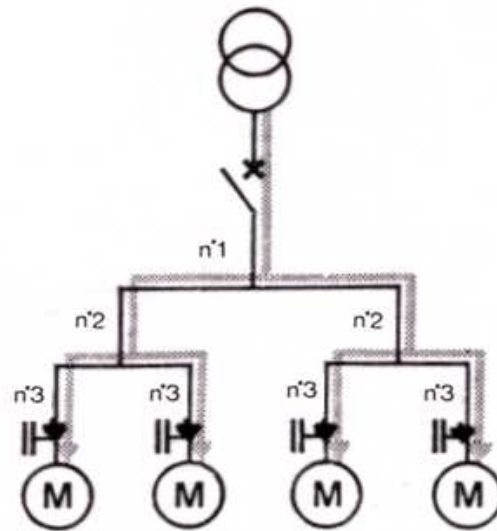


Figura 2.10: Esquema representativo da compensação local do factor de potência [16]

B. Compensação global

Os condensadores são instalados logo após o transformador, nas saídas do quadro geral de baixa tensão

Vantagens:

- Supressão das penalidades por consumo excessivo de energia reactiva;
- Ajuste das necessidades reais da instalação (kW) à subscrição de potência aparente (kVA)

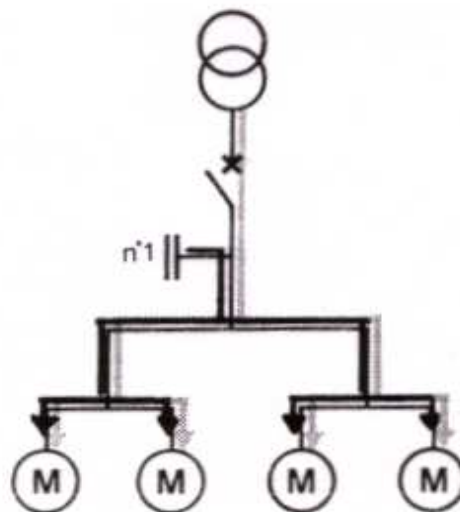


Figura 2.11: Esquema de compensação global do factor de potência [16]

É óbvio que para o Distribuidor, colocam-se dois problemas importantes: a potência fornecida é superior à potência contratada e também, a corrente i total é superior, o que provoca um aumento das perdas por efeito de Joule.

Para o consumidor, o problema agrava-se, já que além de pagar a energia reactiva e as pontas de consumo, as perdas por efeito de Joule da sua própria instalação são superiores e existe ainda a necessidade de ter a aparelhagem de protecção sobredimensionada.

A compensação do factor de potência através da instalação de baterias de condensadores apresenta encargos que são rapidamente amortizados através das economias proporcionadas pela redução da factura energética.

As tarifas daí resultantes incitam fortemente os utilizadores a produzirem eles próprios certas formas de energia, particularmente a energia reactiva; isto a um preço mais competitivo, instalando geradores autónomos de energia reactiva: as Baterias de Condensadores.

2.4 Regulação manual de tensão

Este tipo de regulação tem como objectivo aumentar a eficiência do transformador através da diminuição das perdas. Tal é conseguido com um ajuste da tensão do transformador para a máxima permitida, em conformidade com o normativo. Sabendo que as perdas nas cargas são perdas por efeito de Joule⁵, e que a maior parte das cargas são resistivas o que significa que diminui a corrente, ao aumentar-se a tensão do transformador, verifica-se uma redução das perdas podendo mesmo em certos e determinados casos, em que existam transformadores ligados em paralelo, haver uma comutação de carga [17].

De notar que para executar esta mudança ao nível da tensão, tem que ser feito o corte de todas as cargas existentes ou então haver uma transferência dessa carga. Outro aspecto que importa salientar é que sendo um processo de alguma difícil e demorada execução, verifica-se que o mesmo quando aplicado apenas é feito duas vezes ao ano. Uma no Verão e outra no Inverno, acompanhando assim épocas do ano que, quando comparadas, apresentam uma maior variação ao nível das cargas.

⁵ $P_{\text{joule}} = R * I^2$

Sumário

De acordo com a análise efectuada, as principais medidas a ter em consideração na utilização e escolha dos transformadores de potência, são:

- Escolher a potência do transformador de modo a que o seu índice de carga médio seja de aproximadamente 0,45;
- Para instalações industriais em crescimento, deve ser instalado um transformador cuja potência nominal esteja acima das necessidades de curto prazo, ficando assim acautelada a evolução sem prejuízos provocados por um baixo rendimento;
- Localizar os transformadores o mais perto possível das cargas a alimentar, a fim de diminuir as perdas nos cabos eléctricos de alimentação;
- Substituir os transformadores antigos por outros de fabrico recente, diminuindo assim as perdas no cobre e no ferro;
- Produção local de energia reactiva, com o objectivo de diminuir perdas e aumentar o nível de potência disponível;
- Ajuste da tensão do transformador para a máxima permitida, com o objectivo de reduzir as perdas;
- Proceder a operações periódicas de manutenção e limpeza, de acordo com as instruções dos fabricantes dos equipamentos.

3 Meios Isolantes da Aparelhagem de Corte e Protecção de Média Tensão

Actualmente o isolamento da aparelhagem de corte e protecção de média tensão é feito através dos seguintes meios isolantes

- Ar;
- Ar sintético;
- Azoto (N₂);
- Hexafluoreto de Enxofre (SF₆);
- Vácuo.

O SF₆ tem sido usado como isolador eléctrico desde há mais de meio século. Apresenta excelentes características como isolador assim como excelentes propriedades de extinção do arco eléctrico. Contudo, o seu elevado potencial de aquecimento global (*Global Warming Potencial* - GWP) de 23.900 coloca o SF₆ como um dos gases menos desejados a utilizar. Para se chegar a um valor tão elevado de GWP os defensores do Aquecimento Global assumem que todo o SF₆ usado nos mais diversos equipamentos acaba por ser emitido para o meio ambiente. Todavia, nos equipamentos eléctricos isto não acontece, uma vez que a maioria destes equipamentos são fechados hermeticamente e a sua esperança de vida é de 20 a 30 anos [18]. Mesmo assim, os rigorosos programas de reciclagem dos fabricantes destes equipamentos, comprovam que mesmo no final de vida dos equipamentos eléctricos que contenham SF₆, este irá muito provavelmente ser recuperado em vez de ser libertado para a atmosfera.

Devido às excelentes propriedades do SF₆, existem ainda aplicações cuja substituição deste gás não é possível, contudo, existem outras áreas onde modernas técnicas de engenharia podem originar alguma ou mesmo uma completa redução deste gás.

Os problemas ambientais causados pelo aumento da industrialização e um interesse público crescente em edições ambientais, conduziram à descoberta que os gases eram a causa da ascensão global da temperatura, entre eles, o SF₆ [19]. Depois deste estudo foi acordado no

protocolo de Quioto, que os países industriais teriam que reduzir a quantidade de gases libertados, que contribuíssem para o efeito estufa.

Neste sentido nos últimos anos tem-se verificado o aparecimento de agências como a EPA (Environmental Protection Agency), cujo principal objectivo consiste na redução de emissões dos gases de efeito estufa, mais especificamente do SF₆, através da aplicação de práticas e tecnologias mais eficientes, tais como:

- Melhoramentos constantes dos aparelhos com o objectivo de minimizar as fugas e simplificar o seu manuseamento;
- Renovação de novos equipamentos;
- Reduzir as emissões durante o fabrico;
- Melhorar o sistema de monitorização dos equipamentos de maiores dimensões;
- Uso de técnicas de operação e manutenção mais eficientes;
- Promover recuperação e reciclagem de equipamentos em fim de vida;
- Formação qualificada nesta categoria dos operadores de equipamentos.

Na figura seguinte ilustra-se a redução das emissões de SF₆ a alcançar e as efectivamente atingidas para o período compreendido entre 1999 e 2006. Relativamente aos anos que se seguem foram também já estabelecidas metas a alcançar no que se refere à redução de emissão de SF₆

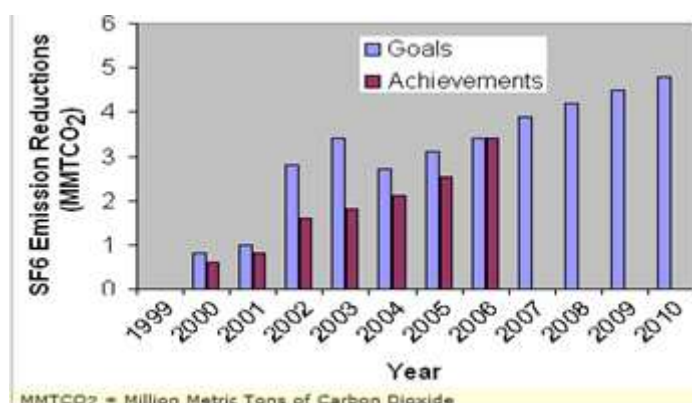


Figura 3.1: Metas e valores atingidos da redução de emissão de SF₆ [19]

De seguida passa-se a apresentar cada um dos meios isolantes atrás referidos, com especial destaque para o SF₆ e Vácuo, dada a sua importância nesta categoria. Esta parte do trabalho vai

focar-se principalmente na comparação destas duas tecnologias de isolamento da aparelhagem de corte e protecção (disjuntores) dos transformadores de potência de média tensão.

3.1 Ar

O ar é um isolante gasoso por excelência devido às suas propriedades físicas e químicas, tendo sido mesmo a primeira técnica de corte da tensão eléctrica utilizada (corte no ar à pressão atmosférica). O ar à pressão atmosférica tem uma rigidez dieléctrica relativamente pequena e nenhum processo físico particular vem acelerar a recombinação dos iões e dos electrões, de modo que a constante de tempo de ionização seja relativamente elevada [20].

À pressão atmosférica e à temperatura ambiente o ar assegura o isolamento das linhas aéreas, barramentos, e sob pressão é utilizado como dieléctrico de corte – disjuntores, entre outros aparelhos eléctricos empregues na indústria eléctrica.

A sua principal vantagem é a de apresentar um custo de produção nulo. Já a sua principal desvantagem reside nas suas grandes dimensões, condicionadas pelas câmaras de corte e das distâncias de isolamento no ar.

As modernas técnicas de corte em SF_6 e vácuo permitiram reduzir de modo acentuado as dimensões e custos de aparelhagem de média tensão de modo a quase se poder afirmar que os disjuntores e contactores de corte no ar estão ultrapassados.

3.2 Ar sintético

O ar sintético é um gás incolor, inodoro e insípido, que se obtém mediante a compressão do gás atmosférico a partir de uma mistura elaborada dos seus componentes, mediante destilação criogenia.

O ar sintético utiliza-se como um gás comburente em: absorção atómica de chama, em cromatografia de gases com detectores de ionização de chama, e em analisadores de hidrocarbonatos totais e óxidos de nitrogénio [21].

O Ar sintético comprimido difere do ar atmosférico pela percentagem bastante inferior de H_2O . Assim, a água é condutora logo, a sua ausência diminuirá a possibilidade de ionização do meio, adquirindo melhores qualidades como isolante.

3.3 Azoto N_2

O azoto desde há muito que é utilizado como isolante na média tensão, sobretudo como gás de mistura com o SF_6 , reduzindo desta forma a percentagem de utilização deste último.

O azoto é um gás incolor, inodoro e insípido. Não é combustível, nem mantém combustão. É um gás pouco solúvel na água e existe na atmosfera numa percentagem de aproximadamente de 78%, Trata-se de um gás não inflamável, inerte, não tóxico e não corrosivo, podendo por isso ser empregue com quase todos os metais geralmente usados a temperaturas normais [21].

Uma vez que o azoto é obtido industrialmente por destilação fraccionada do ar liquefeito, apresenta boas propriedades de refrigeração, sendo por isso a mistura de azoto e SF₆ usada há vários anos. A mistura do azoto com o SF₆ tem como objectivo impedir a liquefacção deste último a temperaturas muito baixas.

3.4 Hexafluoreto de Enxofre (SF₆)

O Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) é um gás sintético, utilizado principalmente na indústria eléctrica, como meio isolante e extintor de arco eléctrico, tanto em disjuntores, como nas subestações, sendo que apenas cerca de um terço é utilizado na aparelhagem de corte e protecção dos transformadores (disjuntores) de média tensão. É um gás quimicamente inerte, porém apresenta um elevado factor GWP de 23.900, o que significa que é 23,900 vezes mais nocivo para o efeito estufa que o dióxido de carbono. Por seu lado a sua colaboração no aquecimento global representa menos de 1%, devido à sua reduzida concentração na atmosfera [22].

Uma curiosidade sobre o SF₆ é que, ao ser inalado, ele torna a voz mais grossa, efeito contrário ao do gás hélio. Isso ocorre porque é um gás 5 vezes mais denso que o ar, o que reduz a velocidade e a frequência das ondas sonoras. Não é um gás tóxico, no entanto por ser mais denso que o ar, em ambientes fechados e de pouco espaço, expulsa o oxigénio, causando asfixia [23]

3.4.1 A molécula de SF₆

Gás de síntese, obtido pela reacção directa do flúor sobre o enxofre a alta pressão e temperatura, o SF₆ apresenta-se, à temperatura ambiente, como um gás não inflamável, não tóxico, incolor e inodoro com uma densidade relativamente elevada em relação ao ar.

A molécula, perfeitamente simétrica, tem no seu centro um átomo de enxofre. Os seis electrões de valência, que constituem as ligações livres, são constituídos por seis átomos de flúor para completar a camada electrónica periférica. Estes seis átomos de flúor encontram-se dispostos em redor do átomo de enxofre nos seis vértices dum octaedro regular. Este edifício, cujas ligações químicas estão saturadas, revela-se perfeitamente inerte quimicamente e apresenta uma grande estabilidade concretizada por uma energia de formação elevada (1096 kj/mol.) [20; 21].

3.4.2 Propriedades dieléctricas do SF₆

A primeira das qualidades do SF₆ para um construtor de aparelhagem eléctrica, manifesta-se no domínio da rigidez dieléctrica, onde para igual pressão, revela-se superior à maioria dos meios gasosos conhecidos. Esta característica deve-se às dimensões elevadas da sua molécula e aos múltiplos mecanismos de colisões inelásticas que lhe permitem «travar» eficazmente alguns electrões livres, sempre presentes, que o campo eléctrico tende a acelerar e que constituem os iniciadores da descarga.

O SF₆ caracteriza-se por possuir excelentes propriedades dieléctricas o que faz com que seja um excelente extintor do arco eléctrico pelas seguintes razões:

- A alta energia de dissociação do SF₆ conduz ao resfriamento eficaz do arco eléctrico;
- Os iões provenientes da dissociação são muito electronegativos e captam rapidamente os electrões livres;
- A recombinação muito rápida das moléculas de SF₆ dissociadas permite o restabelecimento de tensões muito severas;
- Permite uma rápida dissipação do calor gerado pelo arco eléctrico, devido ao seu calor específico elevado;
- Permite uma regeneração da rigidez dieléctrica entre contactos muito rápida, devido à sua recombinação rápida e espontânea.

O coeficiente de transmissão de calor é aproximadamente vinte e cinco vezes o do ar, a tensão do arco eléctrico é cinco a dez vezes menor que a do ar e apresenta um peso específico de 6,14g/l, o que faz com que seja seis vezes mais pesado que o ar⁶. Significa assim que pode concentrar-se em canalizações de cabos ou no fundo de depósitos. Esta propriedade aliada à ausência de cheiro e cor, requer algumas medidas de precaução ao nível de trabalho, de forma a evitar acidentes por vezes fatais devido à asfixia [24].

3.4.3 Benefício do SF₆ como meio isolante na aparelhagem de média tensão

Actualmente existem duas razões que se destacam como vantagens no uso do SF₆ como meio isolante da aparelhagem de média tensão. O SF₆ garante um bom isolamento eléctrico e uma eficiente extinção do arco eléctrico conforme se ilustra na Figura 3.2.

⁶ $d_{\text{SF}_6} \approx 6d_{\text{ar}}$

O SF₆ apresenta-se como um bom isolador uma vez que é fortemente dopado em electrões negativos. Isto significa que as moléculas deste gás através dos seus electrões livres constroem iões negativos que não se movem tão rapidamente, prevenindo o fenómeno de avalanche que origina a disrupção. Esta mesma razão faz também com que o SF₆ controle eficazmente o arco eléctrico porque apresenta excelentes propriedades de arrefecimento a temperaturas (1500-5000 °K) nas quais os arcos eléctricos são extintos. Pode-se então dizer que no SF₆ mesmo antes do núcleo central ter desaparecido completamente devido ao arrefecimento do arco, a condutância deste já se tornou praticamente nula, graças à captura dos electrões livres pelos átomos de flúor, os quais se transformam abaixo de 6000 °K em verdadeiros «devedores» de electrões [22]



Figura 3.2: Representação por sequências da extinção do arco eléctrico em SF₆ [25]

Estas propriedades do SF₆ tornam assim possível construir equipamentos eléctricos compactos que usam uma quantidade pequena de material, garantindo as mesmas condições de segurança e aumentando a durabilidade destes equipamentos além dos 30 anos [24].

Apresenta-se em seguida um conjunto de vantagens e desvantagens do SF₆ como meio isolante da aparelhagem de média tensão:

Vantagens:

- Meio quase ideal para a interrupção do arco eléctrico;
- Suporta tensões elevadas sem produzir arco eléctrico;
- Ausência de sobretensões;
- Mais silenciosos na extinção do arco eléctrico;
- Compactos, e quase isentos de manutenção, só as partes sujeitas a uso normal e envelhecimento necessitam de manutenção para assegurar uma operação totalmente confiável;
- Pode ser sistematicamente reciclável e usado de novo;
- Pode ser removido pelo ecociclo, por exemplo, através de um processo térmico que o transforma de novo em fluoreto de substâncias naturais;

- Equipamentos bastante seguros quando operado por trabalhadores;

Desvantagens:

- Embora não sendo um gás prejudicial à camada de ozono, é considerado como um gás que provoca o efeito estufa (GEE);
- O seu fabrico por si só constitui um risco ambiental;
- Risco de acidentes graves durante o fabrico ou uso, que pode levar à sua libertação para a atmosfera.

3.4.4 Sistema de monitorização do SF₆

Com o objectivo de reduzir ou mesmo anular as emissões de SF₆, por parte da indústria eléctrica, foram criadas câmaras de injeção/extracção deste gás em equipamentos utilizados no transporte e distribuição da energia que impede a sua total emissão para a atmosfera. Estas câmaras utilizam sistemas que fazem a monitorização do SF₆ através de sensores de temperatura e densidade, e que são utilizadas hoje em dia pelos principais fabricantes de equipamentos de média tensão.



Figura 3.3: Sistema de monitorização do SF₆ [26; 5]

A monitorização deste gás é feita através de sensores que detectam quando a densidade do gás desce abaixo de um valor pré-determinado de acordo com as pressões normais do SF₆ a +20°C, fazendo actuar um interruptor. Desta forma todo o SF₆ que se encontra dentro dessas câmaras e mesmo dentro das tubagens de injeção, não é libertado para a atmosfera. Estes equipamentos estão também equipados com sistemas de detecção de fugas, que na sua presença param o processo de injeção e extraem todo o gás existente nessas câmaras. Ao nível das tubagens existe uma válvula que fecha de ambos os lados, impedindo desta forma que haja algum tipo de fugas do gás para o meio ambiente [26; 5].

3.5 Vácuo

Nos últimos 30 anos novas tecnologias de isolamento emergiram para a aparelhagem de corte e protecção (disjuntores de 2kV – 36 kV) dos transformadores de potência da média tensão. Na média tensão estão hoje estabelecidas duas novas tecnologias de interrupção, o disjuntor de vácuo e o disjuntor em SF₆, sendo que a área de maior desenvolvimento de novos contactos foi, e continua a ser, a dos contactos para disjuntores de vácuo.

3.5.1 Disjuntores a Vácuo

Em média tensão, actualmente, mais de 65% dos disjuntores usados no mundo são disjuntores a vácuo. Na China, estes são utilizados quase sem excepção. Na Europa, por outro lado, a distribuição é diferente: ainda é grande a participação no mercado dos disjuntores a SF₆, que é intensamente determinada pela estreita cooperação dos fabricantes de disjuntores e algumas concessionárias de energia. A actual opinião mundial, no entanto, é de que, na média tensão, a técnica de corte a vácuo será o princípio preponderante de corte para a próxima década, como se ilustra na figura seguinte [27].

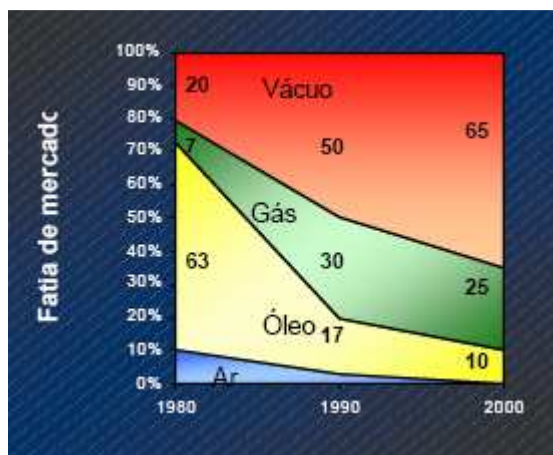


Figura 3.4: Evolução dos meios de extinção de disjuntores de média tensão no mundo [28]

Os disjuntores de média tensão até 36kV são hoje em dia predominantemente isolados a vácuo, uma vez que apresentam algumas vantagens significativas [29; 30], tais como:

- Elevado número de operações;
- Elevada performance, segurança e confiança;
- Isenção de manutenção;
- Compatibilidade com o meio ambiente;

3.5.2 Câmaras de extinção a vácuo e respectivos materiais de contacto

O fabrico de câmaras a vácuo tem-se aperfeiçoado continuamente nos últimos 30 anos, resultando daí câmaras a vácuo bastantes compactas, conforme se ilustra na Figura 3.5, que por sua vez, permitem dimensões menores para o disjuntor, conseguindo-se mesmo em alguns casos reduções na ordem dos 45% em relação a outros mais antigos.



Figura 3.5: Corte de uma câmara a vácuo moderna [28]

O ambiente de vácuo oferece vantagens definitivas ao desenvolvimento de novos materiais de contacto. Por exemplo, não há nenhum gás ambiente para contaminar a superfície de contacto, e consequentemente, os materiais que não podem ser contemplados para a aplicação em ambientes gasosos, tais como o SF_6 , podem agora ser considerados. Também as mudanças na superfície de contacto após a formação de arcos eléctricos são somente afectadas pela interacção dos materiais de contacto em si mesmos, e não pelos óxidos complexos que podem-se formar, por exemplo, ao ar. Estabilizada uma vez a superfície de contacto, a sua resistência será constante e consistente durante toda a sua vida. [31; 32].

3.5.3 Propriedades dieléctricas do Vácuo

Quando ocorre a separação dos contactos ocorre a formação do arco eléctrico que é constituído exclusivamente pela fusão e vaporização do material dos contactos. O arco eléctrico permanece sustentado pela energia externa até a corrente ser anulada. Neste instante, a redução brusca da densidade de carga transportada e a rápida condensação do vapor metálico, conduzem a um restabelecimento extremamente rápido das propriedades dieléctricas. A ampola a vácuo readquire assim a capacidade isolante e a capacidade de sustentar a tensão transitória de retorno, extinguindo o arco definitivamente.

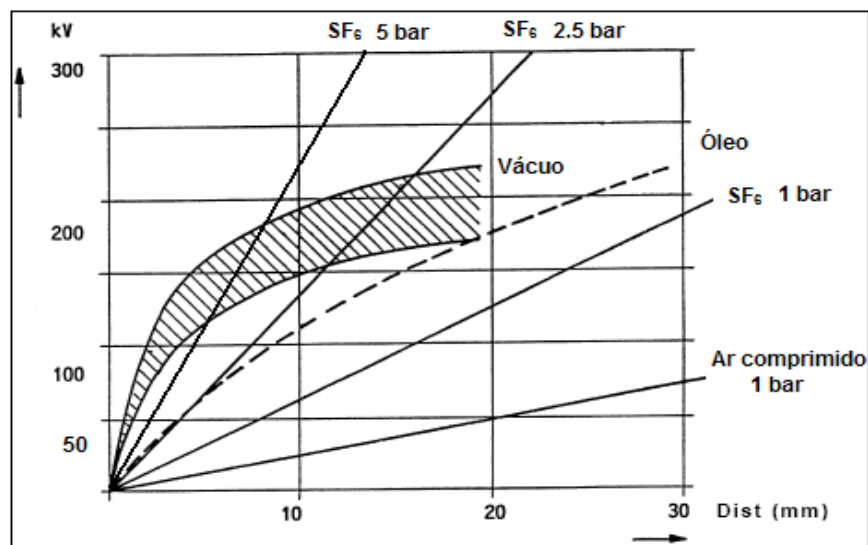


Figura 3.6: Característica dielétrica dos diferentes meios isolantes [26]

Uma vez atingida no vácuo uma elevada rigidez dielétrica conforme se pode ver na figura anterior, mesmo com distâncias mínimas, a interrupção do circuito também é garantida aquando da separação dos contactos, acontecendo poucos milésimos de segundo antes de a corrente se anular [33].

O vácuo é reconhecidamente o melhor meio de extinção da corrente eléctrica na média tensão, apresentando as seguintes vantagens:

- O melhor isolante do mercado em termos ambientais;
- Meio ideal para a interrupção do arco eléctrico em média tensão;
- Proporciona equipamentos compactos, seguros e isentos de manutenção;
- Não gera subprodutos não sendo portanto agressivo ao meio ambiente;
- Apto ao corte de qualquer tipo de carga;
- Não corre risco de explosão sob quaisquer circunstâncias;
- Qualidade, Fiabilidade e Durabilidade Elevadas.

Sumário

A indústria eléctrica nos dias de hoje é responsável pela utilização de cerca de 80% do SF₆ produzido mundialmente, sendo que apenas um terço do SF₆ está instalado nos aparelhos de corte de média tensão. O hexafluoreto de enxofre oferece um grande número de vantagens, contudo apresenta uma desvantagem significativa. O SF₆, embora não sendo um gás prejudicial à camada de ozono, é considerado como um gás que provoca o efeito estufa [19]. Este prejudicial efeito ambiental, é parcialmente compensado pelo facto de ser responsável por cerca de 0,1% do efeito total de estufa devido à sua concentração extremamente baixa na atmosfera.

Desde alguns anos para cá existe uma crescente preocupação ambiental em torno do SF₆. Acrescido ainda do facto que, a partir de 1986 o disjuntor a vácuo começou a apresentar valores de corrente de corte de média tensão comparáveis aos disjuntores a SF₆, nos últimos anos tem-se verificado a seguinte tendência: muitos fabricantes, que até ao momento fabricavam apenas disjuntores a SF₆, estão cada vez mais a apostar no fabrico de disjuntores a vácuo usados na transmissão e distribuição de energia [28].

Após um longo tempo de falta de interesse por parte de todas as indústrias, que não somente a eléctrica, e como consequência das crescentes pressões ambientais em relação ao aumento do efeito estufa, os fabricantes de aparelhos de corte e protecção desenvolveram estudos e investigações nesta área no sentido de criar alternativas ao SF₆. Neste sentido houve então a criação do vácuo como grande alternativa ao SF₆ no isolamento de aparelhagem de corte e protecção de média tensão [22]. Desta forma o vácuo tem se tornado a tecnologia mais avançada no corte de média tensão, com atributos como elevada confiança e resistência eléctrica elevada” [34].

O corte da corrente em vácuo é considerado como a medida ideal do corte em média tensão, a excelente capacidade de manobra, alta fiabilidade, criação de equipamentos mais compactos aliada ao facto ser ecologicamente correcta, “*environmental friendliness*”, fazem desta tecnologia a melhor solução no corte e protecção da aparelhagem de média tensão [35].

4 Implementação de Energias Renováveis em Edifícios - Microgeração

A obtenção de uma eficiência energética mais apurada, é conseguida através da optimização da gestão da energia. A utilização racional de energia é essencial para o equilíbrio ambiental e deve acompanhar, senão antecipar, a implementação de renováveis num edifício.

Neste capítulo começa-se por apresentar o conceito de microgeração, seguindo-se uma abordagem à crescente mutação do sistema eléctrico provocada pela microgeração. Faz-se ainda alusão a todas as etapas a cumprir com vista a uma certificação de um sistema de microgeração, finalizando com um caso prático de três alternativas de investimento de microprodução

4.1 Conceito de Microgeração

A microgeração é a produção de energia eléctrica através de instalações de pequena escala usando fontes renováveis ou processos de conversão de elevada eficiência (micro turbinas, células de combustível, micro eólicas, painéis fotovoltaicos, mini e micro hídricas, cogeração) com baixo teor em dióxido de carbono, e que apresenta grandes vantagens económicas, ambientais e tecnológicas.

Todas as entidades que disponham de um contrato de electricidade em baixa tensão podem ser produtores de energia eléctrica por intermédio de unidades de microprodução, utilizando recursos renováveis, como energia primária, ou produzindo combinadamente electricidade e calor, sendo em seguida entregue à rede de serviço público mediante um de dois regimes remuneratórios: o regime geral ou regime bonificado.

A Microgeração é uma tecnologia energética rentável a preços competitivos, que consegue equilibrar de uma forma dinâmica a oferta e procura da energia eléctrica, ao produzir-se mais energia nos períodos de grande procura e altos preços, e menos energia nos períodos de pouca procura e baixos preços.

Benefícios:

Benefícios para os consumidores:

- Redução do valor da factura energética;
- Redução da emissão dos gases de efeito estufa;
- Ter reserva energética própria no caso de ruptura da distribuição de energia.

Benefícios decorrentes das políticas energéticas:

- Redução da emissão de CO₂;
- Mudança de atitude em relação ao consumo de energia;
- Fiabilidade de produção;
- Alívio na escassez dos combustíveis.

Usando fontes de energia ou combustíveis que não causam gases de efeito estufa, sendo por isso consideradas Energias Renováveis e amigas do ambiente, a microgeração têm o potencial de dar um contributo bastante significativo no uso eficiente da energia reduzindo as emissões de CO₂ e participando deste modo no grande combate às alterações climáticas, funcionando assim como um catalisador da alteração cultural e a nível ambiental.

4.2 Microgeração: a mudança de paradigma do sistema eléctrico

“Power to the People”

Foi este o “slogan” usado por Rachel Crisp, para caracterizar a mudança em curso do paradigma energético na Europa, numa intervenção feita na conferência sobre microgeração realizada no Centro Cultural de Belém, em Lisboa. É uma frase certa, porque «*power*» em inglês tanto significa poder como energia, e promover a descentralização da produção e distribuição de electricidade quer dizer também dar mais poder aos consumidores individuais e às comunidades locais [36].

A aposta nas novas tecnologias energéticas tem vindo a ser fortemente influenciada pelos preços internacionais do barril de petróleo. Porém, actualmente mais dois factores impulsionam a decisão de investir: as preocupações com a segurança de abastecimento e os constrangimentos ambientais.

A microgeração apresenta maiores benefícios do que apenas o custo e redução de CO₂. A produção de energia eléctrica através de instalações de pequena escala utilizando fontes renováveis de energia ou processos de conversão de elevada eficiência energética podem contribuir para uma alteração do panorama energético português de forte dependência do exterior. Por outro lado, a instalação de geradores de pequena dimensão localizados junto dos locais de consumo permite reduzir perdas na rede eléctrica, possibilitando assim o adiamento de investimentos no reforço das infra-estruturas da rede e ainda aumentar a fiabilidade do fornecimento de electricidade. Estas vantagens contribuem para melhorar o desempenho ambiental do sistema energético no seu todo.

As redes de baixa tensão a que se ligam estes equipamentos terão potencialmente cada vez mais protagonismo, podendo através do recurso a tecnologias de informação virem a afirmar-se como células activas, permitindo uma gestão integrada de microgeradores e cargas, de forma a obter uma maior eficiência económica e energética, e possibilitar autonomia local em caso de falta da rede pública.

Esta panóplia de novas tecnologias, aliada a um novo conceito de gestão das redes eléctricas, poderá vir a afirmar-se como a pedra de toque de uma mudança de paradigma do sistema energético nacional e internacional.

Em Portugal, a existência de condições para a integração em larga escala da pequena ou microprodução descentralizada é limitada e pouco consistente, sendo premente a apresentação das tecnologias actualmente disponíveis e a discussão dos constrangimentos administrativos ainda existentes.

A Agência Internacional de Energia (AIE) estima que se pode poupar a nível global, até 2030, 2,7 milhões de milhões de dólares através de políticas energéticas incorporando tecnologias de produção descentralizada e medidas de eficiência energética. Outras projecções da Aliança Mundial para a Energia Descentralizada (WADE), em que a associação portuguesa de cogeração (Cogen) participa, indicam que 50 por cento do dióxido de carbono emitido com a produção de electricidade pode ser eliminado com a adopção da microgeração. O sector eléctrico português é responsável por um terço do total das emissões de CO₂, pelo que está em causa 15 por cento do total de emissões do país [37].

Segundo Ana Estanqueiro et. al. em [38], a microgeração pode permitir poupar cerca de 6 milhões de euros por ano em electricidade, uma vez que as vantagens da microgeração são evidentes: diminui perdas de transmissão e distribuição de electricidade, reduz a sobrecarga da Rede Nacional de Transporte (RNT) e a necessidade de novos investimentos e, aliada à eficiência energética, reduz a necessidade de novas centrais [38].

Uma aposta séria no desenvolvimento destas soluções tecnológicas permitirá ainda explorar oportunidades de produção industrial de novos equipamentos e de prestação de serviços com

alto valor acrescentado, contribuindo para o desenvolvimento sustentado da economia portuguesa.

4.3 Certificação da microgeração

Toda a burocracia e etapas a seguir para se poder instalar uma unidade de microprodução encontra-se parametrizada em documentos pré-definidos, regulamentados através do Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de Novembro.

Apresenta-se em seguida um guia de certificação para uma unidade de microprodução, onde se evidenciam todas as fases que se impõem desde o início até à conclusão do processo de certificação [39].

4.3.1 Siglas e definições

Passa-se a apresentar todas as siglas e definições que integram a certificação de uma unidade de microprodução.

a) Instalação de microprodução

Uma Unidade de microprodução do grupo I corresponde a uma instalação de produção de electricidade monofásica, em baixa tensão, com potência de ligação até 5,75 kW.

b) Produtor

Entidade que produz electricidade por intermédio da unidade de microprodução. Podem ser produtores de electricidade todas as entidades que disponham de um contrato de compra e venda de electricidade em Baixa Tensão.

c) Sistema de Registo de Microprodução (SRM)

O Sistema de Registo de Microprodução através da utilização de uma plataforma informática permite que um produtor registe e certifique a sua unidade de microprodução.

d) Potência de ligação

Potência máxima em quilowatt, que o produtor pode injectar na Rede Eléctrica de Serviço Público.

e) Tipo de energia

As unidades de microprodução poderão utilizar as seguintes fontes de energia:

Fonte de energia de tecnologia renovável:

- Solar;

- Eólica;
- Hídrica;
- Cogeração a biomassa;
- Pilhas de combustível com base em hidrogénio;
- Combinação das fontes de energias anteriores.

Fonte de energia de tecnologia não renovável:

- Cogeração com base em fontes de energia não renovável.

f) Potência contratada

Limite da potência estabelecida no dispositivo controlador da potência de consumo.

g) Condomínio

Entende-se por “condomínio” as zonas de circulação de edifícios de uso colectivo, quer estejam ou não constituídas em regime de propriedade horizontal. A instalação eléctrica estabelecida no condomínio designa-se por instalação de serviços comuns.

h) RESP

Rede Eléctrica de Serviço Público.

i) Comercializador

Entidade titular da licença de comercialização de electricidade.

j) Comercializador de último recurso

Entidade titular da licença de comercialização de electricidade sujeita a obrigações de serviço universal.

4.3.2 Regime remuneratório

Quanto ao regime remuneratório, existe dois tipos:

- Regime remuneratório geral;
- Regime remuneratório bonificado.

A seguir vai-se descrever cada um destes regimes.

4.3.2.1 Regime remuneratório geral

As condições de acesso ao regime geral aplicam-se a todas as entidades com acesso à actividade de microprodução.

As condições de acesso a este regime são as seguintes:

- a) Potência de ligação limitada a 50% da potência contratada com um máximo de 5,75kW no caso de instalações não integradas em condomínios, situação em que esta limitação não é considerada;
- b) Instalações de microprodução integradas num condomínio, onde não foi realizada auditoria energética ou não foram implementadas as medidas de eficiência energética identificadas na auditoria;
- c) Restantes instalações onde não foram instalados colectores solares térmicos para aquecimento de água na instalação de consumo, com uma área mínima de 2m² da área de colector, caso não esteja prevista a instalação de cogeração a biomassa a qual a existir deverá estar integrada no aquecimento do edifício;
- d) O acesso à actividade de microprodução pode ser restringido caso o somatório das potências de ligação das unidades ligadas a um determinado PT - Posto de Transformação ultrapasse o limite de 25% da potência desse mesmo PT;
- e) Produção de energia por cogeração com base em energia não renovável;
- f) Tarifa de venda aplicável é coincidente com a tarifa aplicada na instalação de consumo.

4.3.2.2 Regime remuneratório bonificado

As condições de acesso ao regime bonificado aplicam-se a todas as entidades nas seguintes condições:

- a) Limite anual de potência de ligação registada
 - A potência de ligação registada é sujeita a um limite anual que no ano de 2008 é de 10MW;
 - O valor anual da potência de ligação registada é acrescido anual e sucessivamente, em 20% de acordo com o gráfico da Figura 4.1.

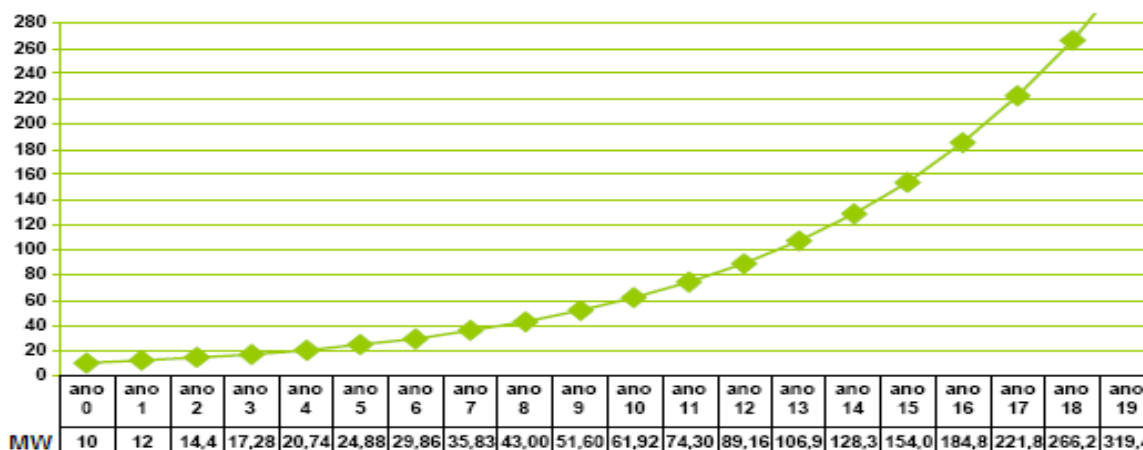


Figura 4.1: Valor anual da potência de ligação registada a nível nacional [39]

- As instalações registadas a partir da data em que o limite da potência de ligação registada para um dado ano tenha sido atingido, só terão acesso ao regime geral.

b) Tarifa de referência no ano de 2008

A tarifa de referência a aplicar no ano de 2008 é função da tecnologia de energia utilizada, ou da combinação de tecnologias utilizadas e o seu valor consta dos seguintes quadros:

Tabela 4.1: Tarifário do regime bonificado [39]

Unidade de microprodução com	Tarifa (€/kWh)
Solar	0,650
Eólica	0,455
Hídrica	0,195
Cogeração e biomassa	0,195
Combinação de tecnologias de energia	*

* média ponderada das percentagens individuais correspondentes às diferentes tecnologias utilizadas

c) Evolução da tarifa de referência

- A tarifa de referência aplicável aos primeiros 10MW de potência de ligação registada, a nível nacional (Continente e Regiões Autónomas), é de €0.65/kWh;

- Por cada 10MW adicionais de potência de ligação registada, a nível nacional, a tarifa de referência é sucessivamente reduzida de 5%;
- No ano de ligação da instalação e nos cinco anos civis seguintes é garantida ao produtor a tarifa de referência em vigor na data de ligação. Após os cinco primeiros anos civis (excluído o ano de ligação da instalação) de aplicação da tarifa garantida ao produtor, a tarifa de referência a aplicar no período adicional de dez anos será a tarifa de referência que vigorar a 1 de Janeiro, de cada ano, para as novas instalações a ligar à rede;
- Findo o período adicional de 10 anos referido no número anterior, aplica-se a tarifa do regime geral em vigor;

A figura seguinte representa a evolução da tarifa pressupondo que a potência de ligação máxima é atingida anualmente

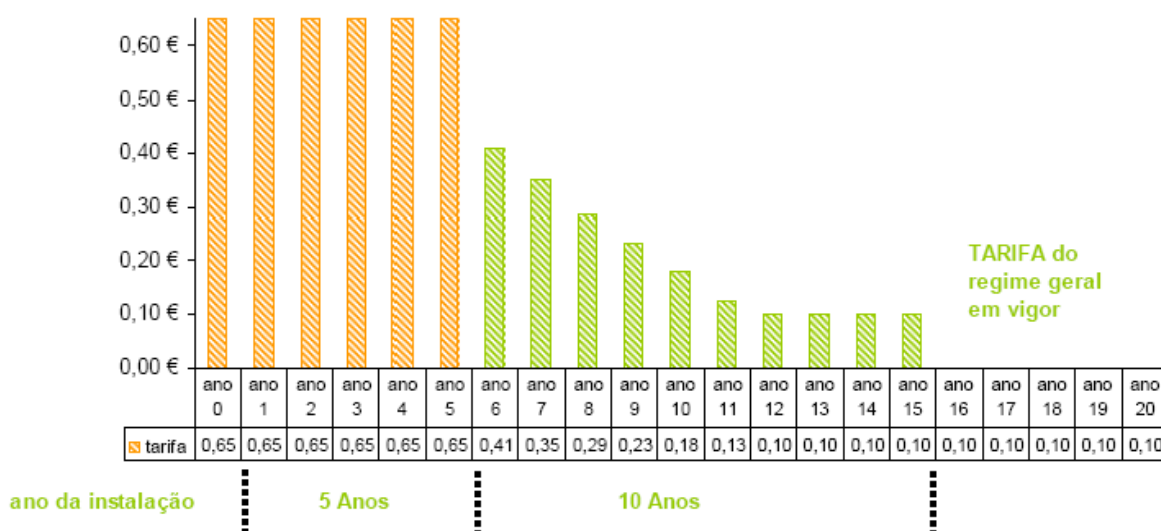


Figura 4.2: Evolução da tarifa de remuneração [39]

***Nota:** A tarifa do regime bonificado não pode ser inferior à do regime geral.

d) Cálculo do valor da tarifa de venda de energia

A fórmula de cálculo a aplicar para obtenção da tarifa de venda de energia do produtor ao comercializador tem por base a média ponderada das percentagens individuais de cada fonte de energia utilizada, considerando como factor de ponderação os limites máximos anuais da energia vendida por tipo de produção, LMEPS (produção solar) e LMERP (restantes produções), será a seguinte:

$$T_V = \frac{LME_{PS}(T_R * P_S) + LME_{RP} [0,7 (T_R * P_E) + 0,3 T_R (P_H + P_B)]}{LME_{PS} * P_S + LME_{RP} * (P_E + P_H + P_B)} \quad (1.1)$$

Onde:

T_V – Tarifa de venda

T_R – Tarifa de referência

P_S – Potência solar

P_E – Potência eólica

P_H – Potência hídrica

P_B – Potência biomassa

e considerando nulas as produções hídricas e solares e que os limites de produção fixados são:

LME_{PS} (produção solar) = 2,4 MW/ano por kW instalado

LME_{RP} (restantes produções) = 4,0 MW/ano por kW instalado.

$$T_V = \frac{LME_{PS}(T_R * P_S) + LME_{RP} [0,7 (T_R * P_E)]}{LME_{PS} * P_S + LME_{RP} * P_E} \quad (1.2)$$

De seguida ilustra-se através de um exemplo a aplicação desta fórmula.

Exemplo:

Cálculo da tarifa de venda de uma unidade de microprodução solar ($P_S = 1,20$ kW) e eólica ($P_E = 2,40$ kW) com a correspondente potência de ligação $PL = 3.60$ kW:

$$T_V = \frac{2,4 (T_R * 1,2) + 4,0 [0,7 (T_R * 2,4)]}{2,4 * 1,2 + 4,0 * 2,4}$$

Considerando

$$K = \frac{P_E}{P_S} = 2.0 \quad \beta = \frac{LME_{RP}}{LME_{PS}} = 2.0 \quad T_R = 0,65\text{€}$$

Para o exemplo em causa:

$$\frac{T_V}{T_R} = \frac{1 + 0,7 K\beta}{1 + K\beta} = \frac{1 + 0,7 * 2 * 1,67}{1 + 2 * 1,67} = 0,7691$$

$$TV = 0,4999\text{€}$$

e) Condições de acesso ao regime bonificado

i. No caso de uma instalação **não integrada** num condomínio:

- A potência de ligação é limitada a 50% da potência contratada, com um máximo de 3,68kW;
- Instalação de colectores solares térmicos para aquecimento de água na instalação de consumo, com uma área de 2m² de área de colector, caso não esteja prevista a instalação de cogeração a biomassa a qual a existir deverá estar integrada no aquecimento do edifício;
- Limite anual de potência de ligação registada, a nível nacional, não tenha sido excedido;

ii. No caso de uma instalação **integrada** num condomínio:

- A potência de ligação é limitada a um máximo de 3,68 kW;
- Foi realizada auditoria energética e implementadas as medidas de eficiência energética identificadas, no âmbito da realização da mesma;
- Limite anual de potência de ligação registada, a nível nacional, não tenha sido excedido;

4.3.3 Registos no SRM

O registo no SRM pode ser feito como produtor ou como entidade instaladora.

4.3.3.1 Como Produtor

Ao aceder ao SRM o potencial produtor deve registar-se, em Registo do Produtor utilizando para o efeito o formulário disponibilizado, indicando:

- Identificação do produtor de energia (titular do contrato de fornecimento de energia eléctrica constante da factura de fornecimento de energia);

- NIF (n.º de identificação fiscal do produtor);
- Código de utilizador e palavra passe que lhe permitirão posteriormente aceder ao processo.

4.3.3.2 Como Entidade Instaladora

As Entidades Instaladoras, (empresários em nome individual ou sociedades comerciais) que pretendam exercer a actividade de instalação de unidades de microprodução devem inscrever-se no SRM, através do formulário electrónico disponibilizado, no qual lhe serão solicitadas as seguintes informações:

- Nome da Entidade;
- Morada;
- Localidade;
- Código Postal;
- Telefone;
- Fax;
- NIF/NIPC;
- N.º de Alvará;
- Prazo de validade do alvará;
- Informação da habilitação para a execução de instalações eléctricas:
 - 4.ª Categoria – Instalações Eléctricas e Mecânicas;
 - 5.ª Subcategoria – Instalações de produção de energia eléctrica;
- E-mail;
- Código de Utilizador e palavra passe (mínimo de 6 caracteres máximo 15)

4.3.4 Pedido de certificado de exploração

As várias etapas por que passa o pedido de certificado de exploração, descrevem-se a seguir:

- a) Após a informação do SRM e no prazo máximo de 120 dias o produtor deverá requerer o certificado de exploração, no SRM, através do formulário electrónico disponibilizado indicando:
 - A Entidade Instaladora (empresário em nome individual ou sociedade comercial) que executou a instalação, previamente registada no SRM;
 - O Técnico Responsável por Instalações Eléctricas de Serviço Particular ao serviço da Entidade instaladora;

- Os “equipamentos tipo” instalados.
- b) Na sequência do pedido de certificado de exploração, esta será realizada no prazo máximo de 20 dias, na data e hora indicada na mensagem de SMS a enviar pelo SRM à pessoa a contactar e ao técnico responsável;
- c) A inspecção será realizada pela ERIIE – Entidade Regional Inspectora de Instalações eléctricas da área da instalação de microprodução sendo obrigatória a presença do técnico responsável pela execução da instalação a certificar;
- d) Na sequência da inspecção e não tendo sido identificadas quaisquer não conformidades, é entregue, no final da mesma, ao produtor ou ao técnico responsável presente o relatório de inspecção, que neste caso substitui o certificado de exploração, o qual será posteriormente remetido ao produtor pelo SRM;
- e) Caso se identifiquem “não conformidades” impeditivas da certificação da instalação, o relatório de inspecção será entregue ao produtor ou ao técnico responsável, ficando a responsabilidade pela decisão de certificação, ou da realização de uma reinspecção inspecção dependente da avaliação técnica do SRM.

4.3.5 Pedido de reinspecção

Para a obtenção do pedido de reinspecção deve-se proceder da seguinte forma:

- a) Caso a inspecção não tenha conduzido à certificação da instalação da unidade de microprodução, o produtor poderá solicitar a realização de reinspecção, no prazo máximo de 30 dias;
- b) A reinspecção será agendada nos mesmos moldes da primeira inspecção;
- c) O valor da taxa de reinspecção da instalação de microprodução estabelecido pela portaria n.º 201/2008 é de €150 acrescida do IVA à taxa reduzida, no caso das instalações cujas fontes de energia sejam totalmente renováveis ou à taxa normal nos restantes casos;
- d) A não certificação da instalação de produção, na sequência da realização da reinspecção, anula todo o processo e obriga o produtor a novo registo.

4.3.6 Dispensa de inspecção

Após a realização pelo SRM de cinco inspecções consecutivas a unidades de microprodução executadas pelo mesmo técnico responsável, sem recurso a reinspecção, o SRM pode não realizar todas as novas inspecções solicitadas por esse técnico responsável, implementando um processo de amostragem por sorteio que poderá conduzir à emissão do certificado de exploração sem realização de inspecção.

4.3.7 Contrato de compra e venda de electricidade com o comercializador

O SRM informa o comercializador de energia, no prazo de 5 dias úteis, da certificação da instalação de microprodução, o qual:

- a) Remete no prazo de 5 dias úteis ao produtor o contrato de compra e venda da electricidade;
- b) Em caso de recusa de celebração do contrato com o produtor, informa o SRM que remete esta informação para o comercializador de último recurso, para efeito de celebração do contrato. Neste caso o contrato de fornecimento de energia deverá igualmente ser celebrado com este comercializador;
- c) O produtor, após a celebração do contrato de venda de energia, deverá proceder ao seu registo no SRM;
- d) O SRM informa o operador da rede de distribuição da concretização do contrato para que este proceda à ligação da unidade de microprodução à RESP no prazo de 10 dias úteis;
- e) O operador da rede de distribuição informa o SRM da data de início de produção a unidade de microprodução.

4.3.8 Alteração da titularidade da instalação

Após a entrada em exploração da instalação de microprodução é possível a mudança de produtor desde que sejam mantidas as características técnicas da unidade de microprodução. Esta alteração deve ser formalizada no SRM resultando da mesma a celebração dos correspondentes contratos de compra e fornecimento de energia.

4.3.9 Alteração da instalação

A alteração da instalação efectua-se através de uma das seguintes fórmulas:

- a) Durante a exploração da unidade de microprodução o produtor poderá efectuar a alteração da sua instalação desde que proceda a novo registo no SRM, mantendo-se a data da instalação inicial para efeitos da fixação da tarifa de referência;
- b) Se das substituições efectuadas resultar uma alteração da potência de ligação o SRM avaliará a possibilidade de instalação da nova potência de ligação.

4.4 Viabilidade técnica da microgeração

A microgeração tem-se vindo a impor progressivamente como um novo conceito de produção e distribuição da energia eléctrica.

A microgeração está no centro de uma revolução que poderá abalar o clássico modelo centralizado de produção e distribuição dos sistemas eléctricos da maioria dos países europeus.

É uma mudança provocada pela expansão das energias renováveis, pela emergência de uma nova geração de consumidores que são ao mesmo tempo produtores de energia, pela introdução de novas tecnologias de informação e comunicação nas redes de baixa tensão a que se ligam os pequenos equipamentos e por um novo conceito de gestão das redes eléctricas adaptado aos requisitos da descentralização.

O aumento do impacto e respectivas preocupações a nível ambiental por parte das grandes centrais de produção de energia, tem estimulado o interesse na exploração e instalação de unidades de microgeração em locais domésticos e industriais, conectando-as nas redes de distribuição eléctrica de baixa tensão (BT). Desta forma e uma vez que a produção de energia é efectuada mais próxima dos centros de consumo, verifica-se uma redução significativa a nível das perdas nas linhas de distribuição, ao mesmo tempo que se usa energias renováveis como fonte primária de produção, o que leva a que os níveis de emissão dos gases de efeito estufa sejam bastante menores [40]

Segundo Malcolm Wickin (UK Energy minister), em [41],

“Power generation has traditionally been about giant stations supplying whole cities, but the future may show that small is big”.

De acordo com J. Peças Lopes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em [42],

“Numa visão optimista é possível no futuro atingir 5% da percentagem do consumo nacional de energia, através da microgeração”

A produção de energia vai deixar de ser centralizada para passar a ser descentralizada e por consequência vai localizar-se mais próximo das nossas casas, proporcionando aos seus habitantes e pequenas comunidades a oportunidade de contribuir directamente para a longevidade ambiental e objectivos energéticos. No futuro espera-se que muitas pessoas recebam a sua factura energética acompanhada de um cheque.

Existe então a necessidade de implementação de sistemas de gestão de consumo, «unidades descentralizadas que fazem a gestão de produção e consumo da electricidade», isto no âmbito de uma produção distribuída, em oposição ao actual sistema centralizado.

Desta forma e devido a este novo paradigma vai ser necessária uma atitude nova. Os distribuidores têm aqui um desafio, porque a gestão da rede terá de ser feita de outra forma, levando em conta a bidireccionalidade e outros problemas técnicos, criando-se assim uma área nova de negócio.

4.4.1 Interligação à rede

Devido aos recentes avanços tecnológicos, poderá afirmar-se que se antecipa uma nova era que assenta no uso mais eficiente da energia suportada na gestão da procura, na aposta das energias renováveis e na microgeração, reforçando o papel do consumidor/produtor. Esta nova tecnologia vai obrigar a uma forte intervenção na rede de distribuição, introduzindo-lhe funcionalidades avançadas de telegestão de energia, capacidade de integração da microgeração e mecanismos de inteligência que estabelecerão uma nova forma de gestão e controlo da rede [43].

As micro-redes de distribuição inteligente e a microgeração são consideradas a terceira geração do sistema eléctrico, em que a principal mudança está na sua capacidade de receberem cada vez mais energia de pequenos consumidores/produtores e de terem novas funcionalidades exigidas pela própria liberalização do mercado. A "terceira geração" é também marcada pela aposta nas renováveis e no aumento da eficiência energética.

Do ponto de vista do cliente, as micro-redes respondem duma forma descentralizada e eficiente quer a necessidades térmicas como eléctricas, reduzem emissões, aumentam a qualidade de serviço na medida em que reduzem falhas de tensão das redes de distribuição, melhorando desta forma a sua fiabilidade ao mesmo tempo que reduzem os custos a elas associados. Do ponto de vista do distribuidor, a aplicação de fontes distribuidoras de energia reduz a procura de unidades de transmissão e distribuição [44].

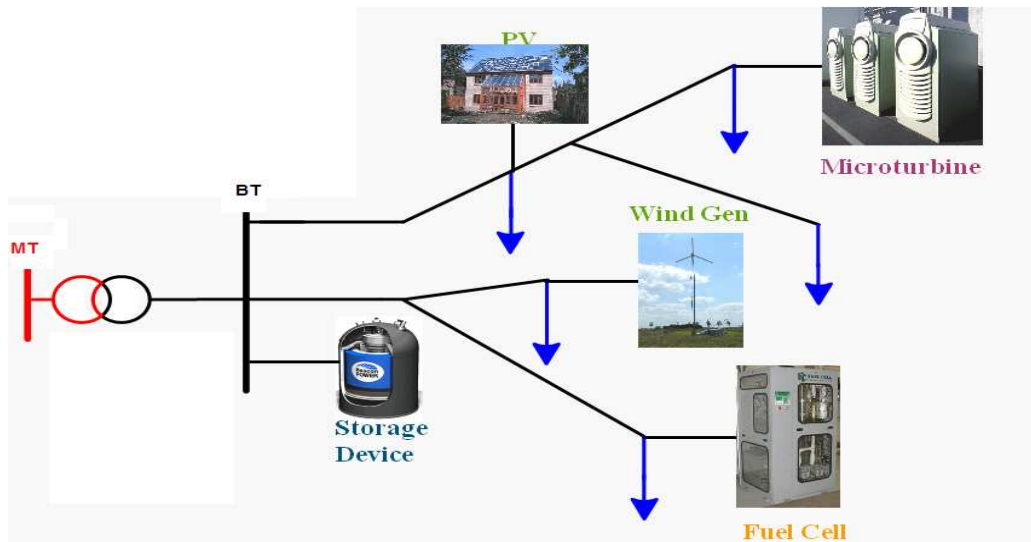


Figura 4.3: Esquema simplificado duma micro-rede [44]

Exposta a parte teórica dos sistemas de interligação à rede das unidades de microgeração, apresenta-se a seguir as principais vantagens e inconvenientes destes.

Vantagens:

- A micro-rede pode operar autonomamente em caso de :
 - Indisponibilidade da rede MT – Isolamento forçado
 - Acções de manutenção – Isolamento intencional;
- Seguimento da carga (*Load following*);
- Reposição de serviço;
- Desligação das cargas após o colapso local da rede;
- Separação da rede BT da rede MT;
- Assegurar a criação de neutro na rede MT (transformador MT/BT desligado);

Desvantagens / Problemas:

- Construir a rede de BT
- Ligar os microgeradores
- Controlar a tensão

- Controlar a frequência
- Ligar cargas controláveis
- Sincronização com a rede MT

No final e somando tudo as micro-redes apresentam-se como a medida ideal para a interligação á rede das unidades de microgeração uma vez que permitem reduções de tempos de interrupção e perdas na rede eléctrica, conferindo assim uma maior autonomia e fiabilidade à rede.

4.5 Microgeração: Caso prático

Nesta secção vai-se abordar de uma forma sucinta a viabilidade económica de uma unidade de microprodução, através da apresentação de um caso prático.

Ao abrigo de todos os direitos e deveres do Decreto-Lei n.º 363/2007, de 2 de Novembro, e uma vez que as tecnologias de microprodução mais atractivas são a solar fotovoltaica e a micro eólica, o estudo prático recai sobre os seguintes casos:

A. Solar Fotovoltaica;

B. Micro Eólica;

C. Solução Híbrida (solar fotovoltaica + micro eólica).

A. Solar Fotovoltaica**Tabela 4.2: Dados do projecto de uma instalação Solar Fotovoltaica**

Ano de arranque da instalação	2008
Número de meses de produção no ano de arranque	3
Venda de energia eléctrica à rede (kWh/ano)	7.472
Remuneração no arranque da instalação (€/kWh)	0,650
Custo de fornecimento e montagem do sistema (€)	25.000
Apoios e incentivos fiscais (€)	777
Investimento inicial líquido	24.223
Custos de manutenção (€/ano)	100
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	14,8%
Valor Actual Líquido - VAL (€)	15.543
Retorno do investimento (anos)	6,5
Lucros no final de 20 anos (€)	33971

Após estudos, cálculos e análises efectuadas, apura-se que a implementação deste projecto de instalação Solar Fotovoltaica vai contribuir para:

- Uma boa remuneração do capital investido;
- Reembolso integral desse capital;
- Libertação de um excedente, cujo Valor Actualizado Líquido (VAL) no momento do início do projecto ascende € 15.543.

Constatamos ainda que a Taxa Interna de Rendibilidade (TIR) subjacente a este projecto de 14,8%, excede o custo dos fundos utilizados no seu financiamento, permitindo libertar um excedente após a remuneração e recuperação do capital investido.

Apresenta ainda um bom tempo de retorno do investimento (*playback period*) que se situa nos 6,5 anos e cerca de € 34.000 de lucro ao fim de 20 anos.

Todos estes valores são indicadores de negócio que nos levam a concluir estarmos perante um projecto interessante, viável económica e financeiramente

B. Micro Eólica**Tabela 4.3: Dados do projecto de uma instalação micro eólica**

Ano de arranque da instalação	2008
Número de meses de produção no ano de arranque	3
Venda de energia eléctrica à rede (kWh/ano)	5.120
Remuneração no arranque da instalação (€/kWh)	0,450
Custo de fornecimento e montagem do sistema (€)	11.000
Apoios e incentivos fiscais (€)	777
Investimento inicial líquido	10.223
Custos de manutenção (€/ano)	200
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	15,4%
Valor Actual Líquido - VAL (€)	6.826
Retorno do investimento (anos)	6
Lucros no final de 20 anos (€)	14568

Após estudos, cálculos e análises efectuadas, constata-se que a implementação deste projecto de instalação micro eólica vai contribuir para:

- Uma adequada remuneração do capital investido;
- Reembolso integral desse capital;
- Libertação de um excedente, cujo Valor Actualizado Líquido (VAL) no momento do início do projecto ascende € 6.826.

Constatamos ainda que a Taxa Interna de Rendibilidade (TIR) subjacente a este projecto de 15,4%, excede o custo dos fundos utilizados no seu financiamento, permitindo libertar um excedente após a remuneração e recuperação do capital investido.

Apresenta ainda um bom tempo de retorno do investimento (*payback period*) que se situa nos 6 anos e cerca de € 14.500 de lucro ao fim de 20 anos.

Todos estes valores são indicadores de negócio que nos levam a concluir estarmos perante um projecto menos interessante, viável económica e financeiramente

C. Solução Híbrida (solar fotovoltaica + micro eólica).

Tabela 4.4: Dados do projecto da instalação híbrida

Ano de arranque da instalação	2008
Número de meses de produção no ano de arranque	3
Venda de energia eléctrica à rede (kWh/ano)	12.067
Remuneração no arranque da instalação (€/kWh)	0,4900
Custo de fornecimento e montagem do sistema (€)	35.000
Apoios e incentivos fiscais (€)	777
Investimento inicial líquido	34.223
Custos de manutenção (€/ano)	300
Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)	11,4%
Valor Actual Líquido - VAL (€)	13.839
Retorno do investimento (anos)	8
Lucros no final de 20 anos (€)	35457

Após estudos, cálculos e análises efectuadas, apura-se que a implementação deste projecto de instalação de um sistema híbrido (Solar fotovoltaica + micro eólica) vai contribuir para:

- Uma remuneração do capital investido;
- Reembolso integral desse capital;
- Libertação de um excedente, cujo Valor Actualizado Líquido (VAL) no momento do início do projecto ascende € 13.839.

Constatamos ainda que a Taxa Interna de Rendibilidade (TIR) subjacente a este projecto de 11,4%, excede o custo dos fundos utilizados no seu financiamento, permitindo libertar um excedente após a remuneração e recuperação do capital investido.

Apresenta ainda um bom tempo de retorno do investimento (*pay-back period*) que se situa nos 8 anos e cerca de € 35.500 de lucro ao fim de 20 anos.

Estes valores são indicadores de negócio que nos levam a concluir estarmos perante um projecto promissor, viável económica e financeiramente.

Destas três soluções, conclui-se que a tecnologia mais promissora é a solar fotovoltaica, porque está no caminho da maturidade e é de mais fácil previsão, em termos de rentabilidade. Por outro lado, a micro eólica implica apenas metade dos investimentos iniciais, embora as suas localizações e previsão sejam mais complexas. Em relação às outras tecnologias como a micro hídrica, cogeração e biomassa, não sendo remuneradas com tarifas tão atractivas, não permitem o retorno do investimento de forma tão directa ou imediata

Sendo notório o destaque da solar fotovoltaica em relação à micro eólica, pelo facto de existir localizações com melhores condições em termos de luz solar do que boas condições de vento. Constata-se ainda que uma associação destas duas tecnologias será uma opção muito interessante.

Sumário

Nos dias de hoje poderá afirmar-se que existe um destaque da tecnologia solar fotovoltaica como produção descentralizada de energia, sendo mesmo considerada como uma das mais promissoras fontes de energia renovável, devido ao seu valor de remuneração do kWh, e à maior existência do seu principal recurso (luz solar), quando comparada com outras tecnologias. Esta fonte de energia apresenta como vantagens a ausência de poluição, a ausência de partes móveis, a reduzida manutenção e o tempo de vida elevado (25 anos). Contudo apresenta como principais desvantagens o reduzido rendimento e o elevado custo, que no entanto tem decrescido acentuadamente.

Nos edifícios existem duas formas distintas de aproveitar a energia solar. Uma é a forma activa, na qual os raios solares são convertidos directamente noutras formas de energia (térmica ou eléctrica) por equipamentos especialmente instalados para o efeito. Outra é a forma passiva, onde se faz o aproveitamento da energia para a climatização dos edifícios através de concepções e estratégias construtivas apropriadas. A necessidade de aquecimento e de arrefecimento ambiente nos edifícios pode ser reduzida através de medidas de aproveitamento da energia solar. A instalação de colectores solares em edifícios, pode reduzir em cerca de 80% o consumo de energia convencional (electricidade, gás natural, gás propano, etc.) para o aquecimento de água.

Uma possível aplicação da energia fotovoltaica é a sua integração em edifícios, tanto em paredes como coberturas. Esta aplicação pode representar reduções tanto dos custos construtivos como energéticos. A energia gerada desta forma serve não só para satisfazer os consumos do edifício, mas também para fornecer a energia produzida à rede, beneficiando de incentivos tarifários.

5 Conclusões Finais e Trabalhos Futuros

5.1 Conclusão

Na revisão da bibliografia efectuada neste trabalho, abordou-se a temática da eficiência energética e sustentabilidade dos edifícios onde se constatou que o desenvolvimento económico tem que levar em conta o equilíbrio ecológico e a preservação da qualidade de vida das populações humanas a nível global. A ideia de desenvolvimento sustentável tem por base o princípio de que o Homem deve gastar os recursos naturais de acordo com a capacidade de renovação desses recursos, de modo a evitar o seu esgotamento.

Verifica-se assim uma tendência para a exigência de uma maior eficiência na utilização de recursos, para a adopção de compromissos exigentes de redução de emissões, para a imposição de tectos e valores limite de emissão de poluentes cada vez mais restritivos, e para a existência de maiores condicionantes à localização de actividades em zonas ecologicamente sensíveis.

Considera-se assim que as crescentes exigências ambientais com que o sector eléctrico se depara, implicam, por um lado, um esforço cada vez maior no controlo dos impactes ambientais, com importantes custos para o sector, podendo, no entanto, ser encaradas como uma oportunidade para o sector se adaptar e inovar, procurando novas soluções, mais eficientes em termos ambientais e económicos. Torna-se assim fundamental a adopção de uma atitude proactiva por parte das empresas do sector eléctrico, que lhes permita antecipar as exigências ambientais e utilizá-las como factor de competitividade.

Ao longo deste trabalho foi estudado a temática da crescente envolvente ambiental em torno dos edifícios bem como todo o processo da transformação de tensão que é efectuada nos seus postos de transformação, tendo se concluído que para uma melhoria da eficiência energética de um posto de transformação, associada a uma redução das perdas, deve-se principalmente: escolher a potência ideal do transformador baseado em curvas de rendimento, fazer dentro do possível uma produção local de energia reactiva e um ajuste da tensão do transformador para a máxima permitida.

Actualmente, de todo o Hexafluoreto de Enxofre (SF_6) produzido mundialmente, a indústria eléctrica é responsável pela utilização da sua maior parte, sendo que apenas um terço deste gás está instalado nos aparelhos de corte de média tensão. O hexafluoreto de enxofre oferece um grande número de vantagens, contudo apresenta uma desvantagem significativa, que se prende com o facto de o SF_6 apesar de não ser um gás prejudicial à camada de ozono, é considerado como um dos gases que provoca o efeito estufa.

Após um longo tempo de falta de interesse por parte de todas as indústrias, que não somente a eléctrica, e como consequência das crescentes pressões ambientais em relação ao aumento do efeito estufa, os fabricantes de aparelhos de corte e protecção desenvolveram estudos e investigações nesta área no sentido de criar alternativas ao SF_6 , visto este apresentar um elevado valor de GWP. Neste sentido verificou-se o aparecimento do vácuo como grande alternativa ao SF_6 no isolamento de aparelhagem de corte e protecção de média tensão.

A procura de uma eficiência energética mais apurada, através da optimização da gestão da energia é essencial e deve acompanhar, senão antecipar, a implementação de renováveis num edifício. Uma implementação de painéis fotovoltaicos como unidade de microprodução pode ser a opção viável, uma vez que apresenta boas condições em termos de luz solar que potenciam o seu desenvolvimento. Neste contexto desenvolveu-se de uma forma muito sumária a análise da viabilidade económica de unidades de microgeração, onde se comparou o projecto de três investimentos (solar fotovoltaica, micro eólica e uma associação destas duas, formando um sistema híbrido), tendo-se concluído que a opção mais promissora será a solar fotovoltaica, e que ainda uma associação destas duas tecnologias poderá ser uma opção interessante.

5.2 Pistas para Investigações Futuras

Neste trabalho foi abordada apenas uma parte da problemática da Eficiência Energética dos Edifícios alimentados em Média Tensão, havendo ainda outros pontos a tratar, designadamente:

- Realização de estudos empíricos sobre a eficiência energética inerente à implementação de energias renováveis nos edifícios, de forma a contribuir para a melhoria da sustentabilidade dos edifícios e ao mesmo tempo minorar problemas ambientais nomeadamente o efeito estufa;
- Um incremento na investigação em temáticas que versem sobre o vácuo como alternativa ao SF_6 como meio de isolamento da aparelhagem de corte e protecção dos transformadores dos postos de transformação dos edifícios;

- Investigação em temáticas direccionadas para as energias renováveis como alternativa ao abusivo uso dos combustíveis fósseis (não renováveis).

Espera-se que este trabalho contribua para alavancar de forma vigorosa a adopção generalizada pelas empresas nacionais do conjunto de medidas de eficiência energética já disponíveis, trilhando de forma pragmática o caminho do desenvolvimento sustentável, isto é, produzindo mais com menos impacto, numa cultura de eco-eficiência, com os consequentes resultados positivos a nível económico, social e ambiental.

Referências

- [1] Aníbal T. A., et al., “Manual de boas práticas de eficiência energética”, BCSD Portugal, Coimbra, Novembro de 2005.
- [2] Paula Antunes et al., “Estudo sobre Sector Eléctrico e Ambiente”, 3º Relatório Política de Ambiente e o Sector Eléctrico, Centro de Economia Ecológica e Gestão do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2002.
- [3] Disponível em www.dgge.pt, acedido a última vez em Maio de 2008.
- [4] “Certificação Energética e Ar interior dos Edifícios”, Adene, Setembro/Outubro de 2007. Disponível em www.Adene.pt, acedido a última vez em Junho de 2008.
- [5] Disponível em www.efacec.pt, acedido a última vez em Junho de 2008.
- [6] Disponível em www.abb.com, acedido a última vez em Junho de 2008.
- [7] “Transformadores”, Documento elaborado pelo CCE (Centro de Conservação da Energia), disponibilizado á Edifícios Saudáveis & Consultores.
- [8] “Perdas dos transformadores”, Documento elaborado no âmbito de um contrato celebrado entre a EDP e o CCE (Centro de Conservação da Energia).
- [9] ”Transformadores a seco em resina”, Siemens, Agosto de 2001. Disponível em www.siemens.com, acedido a última vez em Maio de 2008.
- [10] Olivares, J.C., et al., *Reducing losses in distribution transformers*. Power Delivery, IEEE. Volume 18, Issue 3, July 2003 Page(s):821 – 826.
- [11] Leonardo Energy. “Global Energy Savings Potencial from High Efficiency Distribution Transformers”. European Copper Institute, October, 2004.
- [12] Disponível em www.adene.pt, acedido a última vez em Maio de 2008.

Referências

- [13] “Optimizar o posto de transformação e a rede de distribuição” Disponível em www.aeportugal.pt, AEP 2004. Acedido em Março de 2008.
- [14] Alessandra Freitas Picanço, “Avaliação Económica de Transformadores de Distribuição com base no carregamento e Eficiência Energética”, Universidade Federal de Itajubá, Abril de 2006.
- [15] Environmental Building News, “Honeywell TranStar Transformer Offers Significant Savings”, Julho de 2000.
- [16] António Amaro, “Energia Reactiva”, Merlin Gerin, Março de 1990, páginas 10-12.
- [17] James H. Harlow, “Electric Power Transformer Engineering”, 2003.ISBN 0-8493-1704-5
- [18] Moore, J.A. *Very Low SF₆ Insulation Gases for Medium Voltage Switchgear*. in *Power Engineering Society General Meeting, IEEE.*, 24-28 June 2007 Page(s):1 – 22.
- [19] U.S. Environmental Protection Agency , “SF₆ Emission Reduction Partnership for Electric Power Systems”, disponível em [www.epa.gov/-electricpower-sf6 – basic](http://www.epa.gov/-electricpower-sf6-basic), acedido a última vez em Junho de 2008.
- [20] Caetano Gonçalves, “Técnicas de corte”, Merlin Gerin.
- [21] Disponível em www.gasin.pt, acedido a última vez em Março de 2008.
- [22] Ruhland, S.A. and U. Riedl. *Ecological switchgear concept for secondary distribution*. in *Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES*. Volume 3, 6-10 Oct. 2002 Page(s):1802 - 1806 vol.3.
- [23] Disponível em www.wikipédia.com, acedido a última vez em Junho de 2008.
- [24] Luís M. Pestana, “Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) - Propriedades e aplicações”, Escola Superior de Tecnologia de Viseu. Disponível em [www.estv.ipv.pt,- paginaspessoais – lpestana – SF₆](http://www.estv.ipv.pt/-paginaspessoais-lpestana-SF6), Acesso em Março de 2008.
- [25] Disponível em www.schneiderelectric.pt, acedido a última vez em Junho de 2008.
- [26] SF₆-Gas: Information’s for using and handling, Alstom. Disponível em www.alstom.com, acedido a ultima vez em Maio de 2008.

- [27] Stade P.G., “Vacuum Interrupters: The New Technology of Switching and Protecting Distribution Circuits IEEE Trans. On Indu. Appl.33 (1997), Volume 33, Issue 6, Nov.-Dec. 1997 Page(s):1501 – 1511.
- [28] D. Samman, “Técnicas de chaveamento a vácuo” Siemens Alemanha, 1999, Disponível em www.siemens.com, acedido pela última vez em Maio de 2008.
- [29] Renz, R. *High Voltage Vacuum Interrupters; Technical and Physical Feasibility versus Economical Efficiency*. in *Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, 2006. ISDEIV '06. International Symposium on*. Volume 1, 25-29 Sept. 2006 Page(s):257 – 262.
- [30] Frontzek, F.R. and D. Konig. *Methods for internal pressure diagnostic of vacuum circuit breakers*. in *Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, 1998. Proceedings ISDEIV. XVIIIth International Symposium on*. 1998. Volume 2, 17-21 Aug. 1998 Page(s):467 - 472 vol.2.
- [31] Luís P. Folgado, “O Contacto eléctrico na Aparelhagem de Média Tensão”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
- [32] Smith, R.K.: Tests show ability of vacuum circuit breaker to interrupt fast transient recovery voltage rates of rise of transformer secondary faults. IEEE trans. On Power Delivery, PWD-10, no.1. Volume 10, Issue 1, Jan. 1995 Page(s):266.
- [33] Disjuntor de média tensão a vácuo, ABB. Disponível em www.abb.com, acedido a última vez em Junho de 2008.
- [34] Schlaug, M., et al. Electrical Life of Vacuum Interrupters. in *Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, 2006. ISDEIV '06. International Symposium on*. Volume 1, 25-29 Sept. 2006 Page(s):177 – 180.
- [35] Burkhard Fenski, et al., “Operating mechanism and switching technology”, etz publication translated by ABB, Março de 2007.
- [36] Virgílio Azevedo, “Democracia Energética”, jornal Expresso 17 de Março de 2007.
- [37] Lurdes Ferreira, “A democracia do electrão”, jornal Público, 16 de Março de 2007.
- [38] Sofia Vasconcelos, “microgeração pode permitir poupar cerca de 6 milhões de euros por ano”, jornal Ambiente Online, 22 de Novembro de 2007.

Referências

- [39] “Guia para a certificação de uma unidade de microprodução”, Renováveis na hora, Maio de 2008. Ao abrigo do decreto de Lei 363/2007 de 2 Novembro.
- [40] Emhemed, A.S., et al. *Transient performance analysis of single-phase induction generators for microgeneration applications*. in *Power Electronics, Machines and Drives, 2008. PEMD 2008. 4th IET Conference on*. 2008, Page(s):345 – 349.
- [41] Lenton, D., *Generation begins at home*. IEE Review, 2005, Volume 51, Issue 7, July 2005 Page(s):24 – 25.
- [42] Carla Gomes et al., “Produza você mesmo a energia que consome”, jornal Água e Ambiente, 5 de Maio de 2007.
- [43] Lúgia Simões, “EDP dá primeiro passo para redes eléctricas inteligentes“, Semanário Económico, 26 de Outubro de 2007.
- [44] Manuel de Matos, J. Peças Lopes, “Unidades de Sistemas de energia”, Projectos More microgrids, Inesc Porto 2007.