



**GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES
- GTM**

**O CIGRÉ E OS CRITÉRIOS RECOMENDADOS PARA APRIMORAR O PROCESSO DE FORNECIMENTO E
INSTALAÇÃO (PROCUREMENT) DE TRANSFORMADORES E REATORES DE DERIVAÇÃO**

GILSON MACHADO BASTOS

RESUMO

Este IT apresentará o livro Green Book - Transformers and Shunt Reactors Procurement. No IT será dada uma visão geral do processo de aquisição de transformadores e reatores de potência, incluindo todas as etapas desde a identificação dos requisitos funcionais até a operação. Inclui orientação em cada etapa, dando ênfase especial na identificação das expectativas e requisitos dos clientes e na garantia de que eles sejam cumpridos de forma consistente. O objetivo do Cigre é que o Green Book se torne um Livro de Referência em Processo de Aquisição e ajude engenheiros e técnicos a especificar, comprar e instalar transformadores e reatores

PALAVRAS-CHAVE

Transformadores, Reatores, Procurement, Aquisição, Cigre, Especificação, Fabricação, Ensaios.

1 INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

Um dos principais ativos das instalações do Sistema Elétrico são os transformadores de potência, equipamentos que desempenham papel primordial no sistema, por entregarem a potência gerada bem como a potência a ser transmitida e distribuída em valores de tensão e corrente que produzem baixas perdas e com alta confiabilidade e eficiência.

Os transformadores de potência são usados em uma ampla gama de aplicações diferentes. Em resposta às demandas dessas diferentes aplicações, diferentes conceitos de projeto foram desenvolvidos, como por exemplo transformadores do tipo seco, transformadores isolados a gás e transformadores imersos em líquidos alternativos (ésteres, silicone), transformadores defasadores e aqueles que conectam dispositivos FACTS ao sistema elétrico.

Já o Reator de Derivação é destinado a conexão em paralelo em uma rede para compensar a corrente capacitiva com o intuito de neutralizar a capacitância paralela de linhas aéreas ou, especialmente, cabos subterrâneos ou submarinos.

Os reatores de derivação são produzidos de acordo com os mesmos conceitos de projeto dos transformadores de potência. Historicamente, os reatores de derivação têm valores de indutância fixos e são conectados à rede diretamente ou por meio dos enrolamentos terciários dos transformadores de potência. Nos últimos vinte anos, surgiu a tecnologia de reator de derivação variável que permite uma variação de estado estacionário na indutância com a aplicação de comutadores em carga.

Em paralelo as inovações acima mencionadas, ocorreram nos últimos anos grandes mudanças no mercado de transformadores e reatores. O mercado, principalmente de transformadores de grande porte, tem se tornado cada vez mais competitivo, com aumento da concorrência e pressão sobre os fabricantes para redução de custos finais dos equipamentos. Por outro lado, com a globalização novos e/ou menos conhecidos fabricantes disputam o mercado, o que aumenta a preocupação dos usuários em adquirir transformadores e reatores de fornecedores desconhecidos, aumentando o risco de que os requisitos técnicos não sejam identificados corretamente e, conseqüentemente, não sejam atendidos de forma consistente pelo fornecedor.

Em vista das complexidades e inovações mencionadas, é primordial que estes equipamentos sejam especificados, fabricados, ensaiados e instalados dentro das melhores técnicas disponíveis.

E é o que o Cigre propõe como poderá ser visto no decorrer do trabalho.

2 FORNECIMENTO DE TRANSFORMADORES E REATORES (PROCUREMENT)

Procurement (em português, aprovisionamento) é definido com o processo que abrange vários aspectos na relação entre fornecedores e compradores, constituindo um conjunto de atos de administração do abastecimento, envolvendo matérias-primas, componentes de produção sobressalentes, módulos, produtos acabados e semiacabados, transporte, linhas de montagem e armazéns.

Alguns consideram aprovisionamento e aquisição como conceitos diferentes, entendendo a aquisição como todo o ato de adquirir enquanto o aprovisionamento incluiria também a estratégia e as escolhas de fornecimento. Sendo assim, a aquisição é uma das etapas do processo de aprisionamento.

Trazendo esta definição geral para o mundo dos equipamentos elétricos e, no nosso caso, para o fornecimento de transformadores e reatores podemos dizer que *Procurement* é o processo deste a especificação técnica para a compra de um equipamento até sua entrega, instalação e comissionamento. Para detalhar o processo o Cigre preparou o diagrama abaixo mostrando todas as etapas do processo de *Procurement* e a relação entre essas etapas. Este diagrama foi elaborado com base nos trabalhos das brochuras técnicas 528, 529, 530 e 655, que iremos comentar mais adiante.

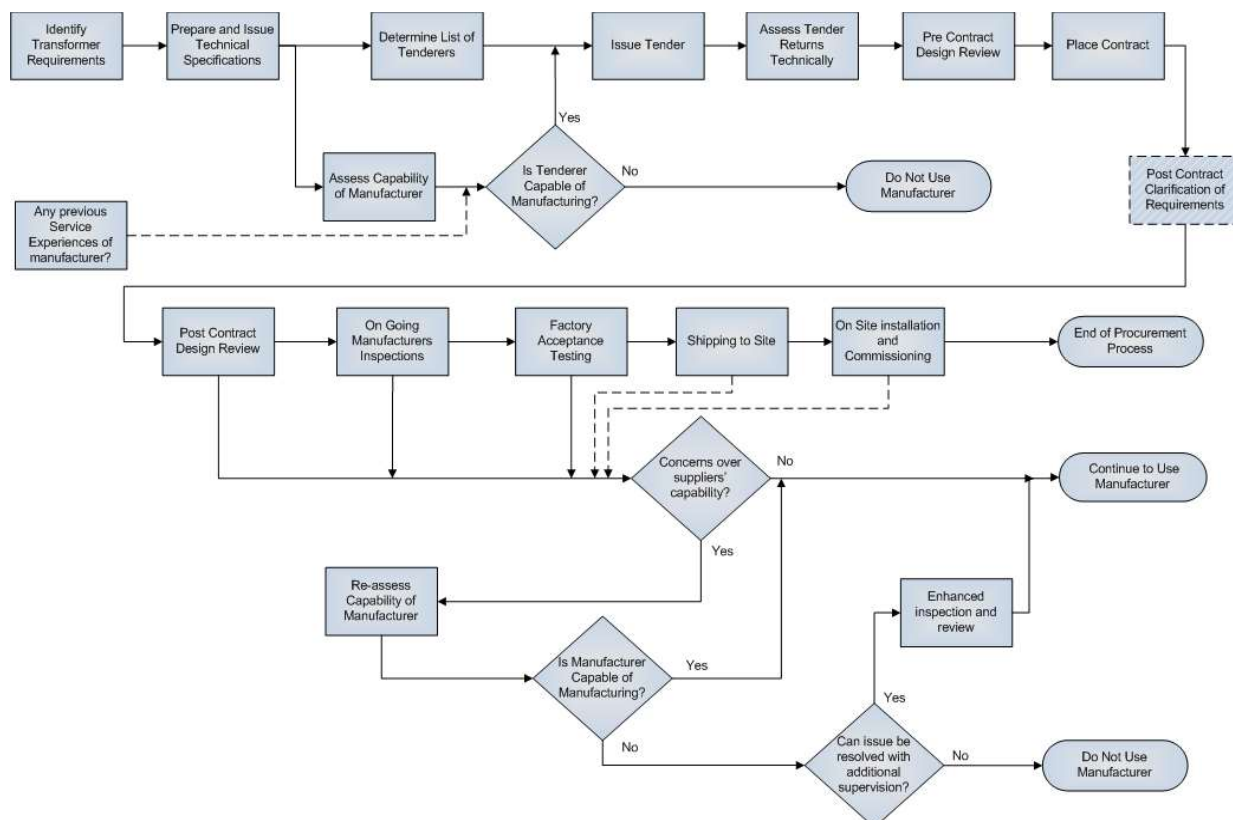


Figura 1- Diagrama do Processo de Procurement
(Cigre – Transformer Procurement Green Book)

Como mostrado no diagrama, o processo de *Procurement* engloba as etapas de especificação, aquisição, contrato, projeto, *design review*, acompanhamento da fabricação, inspeção e testes, embalagem, transporte, montagem e comissionamento do equipamento e objetiva assegurar ao comprador um equipamento que atenda às suas especificações e aos requisitos técnicos, às Normas Técnicas e aspectos de qualidade.

Além de os transformadores e reatores estarem entre os principais ativos das instalações de Distribuição, Transmissão e de Geração e desempenham papel primordial no sistema elétrico, eles são equipamentos de projeto complexo e cuja fabricação é muito pouco automatizada, requerendo uma grande variedade de matérias primas e componentes. Ainda, a fabricação pode incluir várias fábricas diferentes, que mesmo sendo mesma organização do fabricante e fornecedor, provavelmente têm diferentes capacidades técnica e níveis de qualidade.

Ressalta-se ainda que ocorreram grandes mudanças no mercado de transformadores e reatores nos últimos anos. Esse mercado, especialmente para grandes transformadores, tem se tornado cada vez mais global, com aumento da concorrência e pressão sobre os fabricantes para reduzir custos. Assim, muitos usuários estão agora comprando transformadores e reatores de fornecedores desconhecidos e têm preocupações sobre se todas as suas expectativas e requisitos serão corretamente identificados e cumpridos de forma consistente.

O CIGRE há muito tem interesse no processo de *Procurement* de transformadores e reatores. O primeiro grupo de trabalho que abordou especificamente esse assunto foi o 12.15 sobre as especificações do transformador, que publicou seu relatório final como folheto 156 em abril de 2000 [1]. De lá para cá diversos Grupos de Trabalho foram criados para estudar as diversas etapas do *Procurement*, como será mostrado no próximo capítulo.

3 O CIGRE E O TRANSFORMER PROCUREMENT

O CIGRE voltou ao tema do fornecimento de transformadores em 2010 com a criação do Grupo de Trabalho A2.36 – *Transformer Procurement*, que foi um posicionamento do Cigre às preocupações dos usuários sobre o possível impacto da compra de transformadores e reatores de fornecedores desconhecidos, à globalização e a cada vez maior complexidade e as novas tecnologias de transformadores e reatores.

Esse Grupo de Trabalho teve como objetivo rever todo o processo de fornecimento de transformadores e abordou três etapas do processo que foram publicados como as Brochuras Técnicas 528, 529 e 530 em 2013. A Brochura Técnica 528 é um Guia para o preparo de Especificações de Transformadores de Potência (*Guide For Preparing Power Transformer Specifications*), a Brochura Técnica 529 é um Guia para a realização da revisão de Projeto de Transformadores (*Guide For Conducting Transformer Design Reviews*) e a Brochura Técnica 530 é um Guia para a avaliação das instalações fabris de transformadores (*Guide For Conducting “Transformer Factory Capability Assessment”, i.e. for transformer supplier qualification and development*). Este último tema constituiu o ponto de partida inicial do Cigre nesta matéria e é de especial interesse para os usuários que comprem transformadores ou reatores de fornecedores desconhecidos.

Em 2013 o Grupo de Trabalho WG A2.42 foi criado para continuar o trabalho de WGA2.36 no transporte de transformadores. Seu relatório final foi publicado como Brochura Técnica 673 em dezembro de 2016. O grupo de trabalho CIGRE WGA2.58 foi criado em 2016 para continuar o trabalho de WGA2.36 e WGA2.42 abordando os aspectos da instalação de transformadores e reatores, pré-comissionamento e operação experimental. Espera-se que o WG publique seu relatório final durante 2021.

No caso de transformadores e reatores para sistemas HVDC utilizando conversores controlado a tiristor, o trabalho do WGA2.36 foi parcialmente antecipado pelo trabalho de JWGA2/B4.28. O JWG publicou um guia para revisão de projeto de transformadores e reatores HVDC como Brochura Técnica 407 em fevereiro de 2010.

No caso de reatores de *shunt*, o trabalho de WGA2.36 foi complementado pelo trabalho de WGA2.48, que publicou seu relatório final como Brochura Técnica 655 em maio de 2016. Isso inclui material adicional relevante para identificação de requisitos funcionais, especificações, revisão de design e, especialmente, testes finais de aceitação de reatores de potência.

Além dos Grupos de Trabalho e Brochuras Técnicas mencionadas acima, O Cigre criou diversos outros GT sobre assuntos específicos, que fazem parte do processo de *Procurement*.

Como forma de organizar e concentrar todas as informações relativas ao processo de *Procurement*, o Comitê de Estudos SC A2 do Cigre publicará em 2021 o *Transformer Procurement Green Book*, que fornecerá um guia abrangente para o processo de aquisição de transformadores e reatores, desde a identificação de requisitos funcionais até a entrada em operação. Destina-se a fornecer uma referência para qualquer pessoa envolvida no processo de aquisição.

O livro, além de organizar e concentrar as informações dos diversos WG, procurou atualizar as informações das Brochuras Técnicas anteriores além de incluir requisitos específicos para os novos conceitos de projeto além das novas aplicações, como será mostrado a seguir.

4 LIVRO DO CIGRE “TRANSFORMER PROCUREMENT GREEN BOOK”

O livro *Transformer Procurement* é um guia abrangente para o processo de aquisição e fornecimento de transformadores de potência e reatores derivação, desde a identificação de requisitos funcionais até a operação experimental. Pretende-se fornecer uma referência para qualquer pessoa envolvida no processo de aquisição. Cada uma das principais etapas do processo é descrita em próprio capítulo, ao mesmo tempo em que orienta detalhadamente sobre como as expectativas e requisitos dos usuários podem ser mais bem identificadas e atendidas. Cada capítulo foi escrito por especialistas da área e, em seguida, revisado em detalhes pelo Grupo Editorial. Todo o projeto do Green Book foi coordenado pelo Engº Simon Ryder, que foi o Coordenador do *Study Committee A2 – Transformers* do Cigre até 2020.

Nos itens seguintes iremos apresentar a estrutura do livro e, de forma resumida, os conceitos e requisitos abordados em cada capítulo do livro.

4.1 Estrutura do *Green Book*

4.1.1 Processo licitatório

O processo licitatório é descrito de uma maneira geral haja vista as diversas alternativas possíveis e utilizadas pelas concessionárias e/ou compradores.

O capítulo descreve o processo de licitação em detalhes incluindo a seleção de fornecedores, a contratação e a execução de contrato e projeto.

4.1.2 Identificação de Requisitos Funcionais e Especificações Técnica

Três capítulos do livro são dedicados a Identificação dos Requisitos Funcionais, a Especificação Elétrica e a Especificação Mecânica.

Especial atenção é dada a otimização da eficiência do transformador e são apresentadas técnicas diferentes para garantir níveis de perda ideais para transformadores ao longo dos anos. Uma breve explicação de cada uma das técnicas mais importantes é dada, seguida de uma explicação mais detalhada de como aplicar a capitalização de perdas, que é a principal técnica utilizada para transformadores de energia de médio e grande porte.

Outro ponto de destaque no livro é a questão do Ruído Audível, com os requisitos e especificações de modo a atender as limitações do local da instalação.

4.1.3 Qualificação e Desenvolvimento de Fornecedores

O *Green Book* aborda a importância da certificação do local de fabricação dos transformadores e reatores através da avaliação completa da capacidade da fábrica, levando em conta sua capacidade de execução

de projeto, da engenharia aos testes e aos serviços como o transporte. Outro ponto importante são os processos de suporte, gestão de projetos, gestão da qualidade, gestão ambiental, recursos humanos e gestão de saúde e segurança.

4.1.4 Gerência de projetos

A fabricação de transformadores e reatores é altamente complexa e um sistema de gerenciamento de projetos que garanta que todas as diferentes etapas de produção de transformadores ou reatores sejam executadas de forma controlada, de acordo com as expectativas e requisitos do cliente. As recomendações para este sistema são detalhadas no livro.

4.1.5 Execução de Projetos na Fábrica

Devido à complexidade da fabricação de transformadores e reatores, cada parte da execução do projeto do transformador ou reator na fábrica deve ser realizada de forma controlada, de acordo com as expectativas e requisitos dos clientes. Nesse Livro, a execução do projeto na fábrica é dividida em engenharia, fabricação e teste final. No livro cada uma destas atividades é apresentada e discutida e comentada em capítulos específicos, tais como:

Projeto - As melhores práticas para cálculos de projeto destacando o uso de métodos avançados para revisão e validação. Também é fornecida orientação sobre como a precisão dos métodos avançados de cálculo pode ser verificada.

Fabricação - Uma visão geral dos processos típicos de fabricação para transformadores de potência e reatores derivação, fornecendo orientações sobre o que os usuários devem procurar na inspeção de uma fábrica desconhecida como parte da qualificação e desenvolvimento de fornecedores. Ele também fornece orientações sobre o que os usuários devem procurar ao inspecionar o trabalho em andamento para transformadores e reatores,

Testes - O livro fornece orientações sobre cada teste, incluindo a metodologia utilizada, a aplicabilidade do teste para diferentes transformadores e reatores, critérios de aceitação, e possíveis problemas surgidos durante o teste.

4.1.6 Transporte; Armazenamento

Um capítulo trata especificamente de transporte e armazenamento fornecendo orientações detalhadas sobre diferentes termos de acordo com o INCOTERMS 2010 [2]; as características dos diferentes modos de transporte; o uso de registradores de choque; especificação, revisão de design, documentação e planejamento; e inspeção no recebimento.

4.1.7 Instalação; Pré-comissionamento; Operação

O capítulo instalação fornece orientações detalhadas sobre o trabalho preparatório antes da instalação, uma descrição detalhada do processo de montagem e uma descrição detalhada do processo de enchimento líquido isolante.

O pré-comissionamento é o tema do capítulo específico, que fornece orientações detalhadas sobre a verificações e testes necessários após a instalação e antes da primeira energização para garantir que o transformador ou reator esteja em boas condições e pronto para o serviço.

No capítulo sobre Operação é abordada a questão da garantia e inclui uma descrição das verificações funcionais no transformador ou reator, sistema de refrigeração, cubículos de controle e outros equipamentos associados na época da primeira energização e primeiro carregamento. Este capítulo também inclui uma descrição detalhada de verificações adicionais e testes feitos no transformador ou reator através da garantia ou responsabilidade de defeitos, e especialmente antes do fim do período de responsabilidade da garantia ou defeitos.

5 CONCLUSÃO - DE OLHO NO FUTURO

O trabalho do CIGRE tem se concentrado cada vez mais em dois desafios relacionados: garantir o acesso universal a uma eletricidade confiável e garantir a sustentabilidade do fornecimento de energia elétrica. Esses dois desafios não podem ser enfrentados separadamente, uma vez que o acesso universal à eletricidade depende da melhor integração dos recursos de energia renovável distribuídos. Aspectos desses desafios de especial relevância para transformadores e reatores incluem:

- Transformadores para a integração de fontes de energia solar
- Transformadores para a integração de fontes de energia eólica
- Sistemas de transmissão AC e DC, para permitir a integração de recursos de energia renovável em áreas remotas
- Aumento do uso de transformadores defasadores, para controlar fluxos de energia
- Montagem no campo de grandes transformadores, também para permitir a integração de recursos de energia renovável em áreas remotas
- Desenvolvimento de tecnologias alternativas ao transformador ou reator convencional imerso em óleo mineral isolante
- Melhor controle das perdas
- Melhor controle dos níveis de som audíveis
- Melhor gerenciamento de vida do transformador e do reator
- Projetos para lidar com variações na tensão do sistema e variações na frequência do sistema

Algumas das tecnologias de transformadores e reatores desenvolvidas para enfrentar esses desafios estão suficientemente maduras e foram incluídos neste *Green Book*:

- Transformadores para a integração de fontes de energia solar e eólica:
A identificação dos requisitos funcionais, incluindo o possível impacto dos harmônicos, especificação e aspectos especiais dos testes para transformadores são abordados no livro.
- Sistemas de transmissão AC e DC para permitir a integração de recursos de energia renovável em áreas remotas
A identificação dos requisitos funcionais, a engenharia e o projeto para esses requisitos e teste dielétrico são temas abordados no livro
- Desenvolvimento de tecnologias alternativas ao transformador ou reator convencional imerso em óleo mineral isolante
A identificação dos requisitos funcionais, incluindo o conceito de design adequado, é abordada.
- Melhor controle das perdas
A eficiência é tema de um capítulo exclusivo no *Green Book*.
- Melhor controle dos níveis de som audíveis
Especificação de níveis sonoros audíveis é abordada.
- Projetos adequados para lidar com as variações na tensão do sistema e variações na frequência do sistema
A identificação dos requisitos funcionais, incluindo o possível impacto das variações na tensão ou frequência do sistema, é abordada bem como engenharia e o design para esses requisitos, utilizando métodos avançados, são abordados.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] IEC standard 60050-421, "International Electrotechnical Vocabulary – Power transformers and reactors", 1990
- [2] Incoterms 2010, "Incoterms 2010: ICC rules for the use of domestic and international trade terms", 2010
- [3] CIGRE brochure 528, "Guide for Preparation of Specifications for Power Transformers", Working Group A2.36, Abril de 2013

- [4] CIGRE brochure 529, "Guidelines for Conducting Design Reviews for Power Transformers", Working Group A2.36, Abril 2013
- [5] CIGRE brochure 530, "Guide for Conducting Factory Capability Assessments for Power Transformers", Working Group A2.36, Abril 2013
- [6] CIGRE brochure 156, "Guide for Customer Specifications for Transformers 100MVA and 123kV and Above", Working Group 12.15, Abril 2000
- [7] CIGRE brochure 204, "Guidelines for Conducting Design Reviews for Transformers 100MVA and 123kV and Above", Working Group 12.22, Agosto 2002
- [8] CIGRE brochure 673, "Guide on Transformer Transportation", final report of CIGRE working group A2.42, December 2016
- [9] CIGRE brochure 407, "HVDC Converter Transformers: Guidelines for conducting design reviews for HVDC converter transformers", CIGRE Joint Working Group A2/B4.28, Fevereiro 2010
- [10] CIGRE brochure 655, "Technology and Utilisation of Oil-Immersed Shunt Reactors", CIGRE Working Group A2.48, Maio 2016
- [11] C Ploetner, "Power Transformer Audible Sound Requirements", CIGRE Working Group A2.54, Electra 302, Fevereiro 2019.
- [12] B Simons, "Load Sound Power Levels for Specification Purposes of Three-Phase 50Hz and 60Hz Liquid-Filled Power Transformers", CIGRE Working Group A2.54, Electra 310, Junho 2020
- [13] CIGRE brochure 445, "Guide for Transformer Maintenance", Cigre Working Group A2.34, Fevereiro 2011

DADOS BIOGRÁFICOS



Gilson Machado Bastos, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-RJ. Trabalhou por mais de 35 anos em Furnas Centrais Elétricas na área de Engenharia de Transmissão onde chegou a Superintendente de Engenharia de Transmissão. Posteriormente foi Assistente de Engenharia da MSG Transmissora e atualmente atua como consultor. É membro do Comitê de Estudos de Transformadores – CE A2 – do Cigre Brasil, do qual foi coordenador no período 2014-2020 e membro do Study Committee SC A2 do Cigre Internacional