

Arquitetura de *Smart Circuit*: *Retrofitting* de Redes Legadas de Distribuição em Baixa Tensão

Raimundo Cláudio Souza Gomes
Depto. de Engenharia Elétrica
Universidade do Estado do Amazonas - UEA
Manaus/AM, Brasil
rclaudio.gomes@gmail.com

Carlos Tavares da Costa Jr.
Faculdade de Engenharia Elétrica
Universidade Federal do Pará - UFPA
Belém/PA, Brasil
cartav@ufpa.br

José Reinaldo Silva.
Depto. de Engenharia Mecatrônica
Universidade de São Paulo – USP
São Paulo/SP, Brasil
reinaldo@usp.br

Abstract—This paper presents the developing steps of an architecture model applied to automation low voltage legacy circuits by an ancillary implementation to perform retrofitting and turn them into smart circuits; process here named smart grid convergence. Systemic approach method was adopted, including the survey of LV grid systemic aspects, the automation possibilities within these grids and a smart grid requirements applicable set. An object-oriented approach with SysML diagrams was used how description strategy.

Index Terms—Distribution Automation System, Legacy Power Systems, Low Voltage Grid Automation, Smart Circuit, Smart Grid Convergence.

I. INTRODUÇÃO

O sistema elétrico (SE) atual é caracterizado por possuir uma infraestrutura de geração centralizada com fluxo unidirecional de potência. Associado a isto, um modelo centralizado de gestão é aplicado a sua operação na distribuição. Essas características (isoladas e combinadas) são alguns dos obstáculos à introdução de propriedades e requisitos de definição do paradigma *Smart Grid* [1], [2].

TABELA I. REQUISITOS DE DEFINIÇÃO DE *SMART GRIDS*

Requisitos	Descrição
1	Geração Distribuída
2	Resiliência (<i>Self-Healing</i>)
3	Automação Pervasiva
4	Interatividade
5	Eficiência e Qualidade

Na Tab. 1, constam elencadas algumas das mais importantes propriedades de definição de *Smart Grid* (SG), aplicáveis ao sistema de distribuição de energia. No presente trabalho, elas serão consideradas metas a serem desdobradas em requisitos para o desenvolvimento da solução de automação aqui proposta.

Certamente, não há como prover atendimento a tais requisitos sem que recursos de automação sejam implementados neste SE [2], [3]. Considerando o estado da arte dos sistemas de automação aplicados particularmente ao sistema de distribuição de energia elétrica, verifica-se o predomínio das seguintes linhas de abordagem:

a) *Controle Supervisório SCADA (ou SCADA equivalente)*: As soluções baseadas nesse tipo de abordagem vêm sendo empregadas na automação de subestações de distribuição e, mais recentemente, abrangendo ativos das redes de MT [3], [4].

b) *Implementações de AMI (Advanced Metering Infrastructure)*: A característica fundamental desse tipo de abordagem está na instalação impositiva e generalizada de *smart meters* (medidores inteligentes) nas unidades consumidoras (UCs), que normalmente implica na substituição radical de medidores já instalados [5], [6].

c) *Integração SCADA/AMI*: Em geral, esta abordagem resulta do encontro de duas frentes (esforços) de automação: a automação de subestações e redes alimentadoras de média tensão (com SCADA e/ou equivalentes), e a implementação de AMI na gestão de consumidores [7], [8].

d) *Visão Reducionista/Cartesiana*: Abordagem em que cada demanda é tratada individualmente por meio de um sistema de automação de função específica voltado à implementação de funcionalidades pontuais demandadas pela Operação do sistema de distribuição [9], [10]; presumindo-se possível a integração dessas diversas e distintas soluções, que

redunde em um sistema geral funcionalmente compatível com uma SG [8].

Nenhuma dessas quatro abordagens, entretanto, sinaliza qualquer atenção à natureza sistêmica da rede, quando se trata, especificamente, da automação da distribuição em baixa tensão (BT) [11], [12]. Por outro lado, as soluções baseadas nessas abordagens apresentam sérias restrições quanto à capacidade de interoperação, integração e aderência efetiva com transição escalar ao conjunto dos requisitos de definição de uma SG. Sem contar os aspectos discutíveis de viabilidade ou vantagens econômico-financeira de tais soluções, tanto para as concessionárias quanto para usuários do sistema [6], [13].

Este artigo apresenta a descrição de uma arquitetura de referência aplicável ao desenvolvimento de sistemas ancilares de automação, para implementação de um *retrofitting* de circuitos legados de BT que os converta em *Smart Circuits* (SCs) [14]. Os aspectos estruturais desta arquitetura são tratados resumidamente na seção II, visto que o enfoque deste trabalho está na descrição funcional do modelo e na demonstração de sua capacidade de integrar funcionalidades aderentes ao paradigma SG, conforme consta na seção III.

Esta pesquisa foi realizada sob uma abordagem holística, tendo em consideração as características sistêmicas da distribuição em BT. As estratégias de descrição e modelagem estão baseadas no paradigma de orientação a objetos (OO) e métodos de engenharia de sistemas, por maior coerência às demandas de natureza complexa e multidisciplinar do tema.

Desta forma, diagramas SysML foram empregados nas representações de modelos relativos às estruturas e processos dos sistemas abordados e na descrição dos modelos [15], [16].

II. ASPECTOS ESTRUTURAIS DA ARQUITETURA DE SMART CIRCUITS

Neste artigo, investigou-se a implementação de uma infraestrutura ancilar de automação que, coerentemente superposta à infraestrutura legada da distribuição em BT, seja capaz de executar localmente as operações e processos de interesse local desses circuitos. A seguir, são apresentados os detalhes dos resultados já obtidos dessa pesquisa.

A. Infraestrutura dos Circuitos Legados

Como qualquer sistema, um circuito de BT (CBT) possui: estrutura, elementos de composição (componentes), processos e uma operação geral característica. Quanto à estrutura e elementos de composição, um CBT legado é composto por três domínios básicos, os quais estão descritos na Tab. 2, a seguir.

TABELA II. DESCRIÇÃO DA COMPOSIÇÃO BÁSICA DE UM CBT.

Domínio	Sigla	Componentes
Posto Transformador	PT	Transformador (Trafo) de Distribuição (TD)
Distribuição Secundária	DS	Rede Secundária (RS) e Pontos de Derivação (PD)
Domínio do Consumidor	DC	Padrão de Entrada (PE) e Unidade Consumidora (UC).

B. O Modelo Convencional de Gestão da Operação

É papel importante das concessionárias implementar o Serviço de Operação da Distribuição (SOD), ou simplesmente Operação. Para isto, em geral, uma estrutura departamental é constituída, sendo composta, basicamente, por uma equipe de campo e um Centro de Supervisão e Controle (CSC). No CSC, um Sistema de Gestão da Operação (SGO) coordena a execução de toda e qualquer ação técnico-operacional realizada na planta de distribuição remota [17], [4].

Portanto, neste modelo convencional de SGO, os CBTs são subsistemas ou *clusters* remotos passivos, ou seja, desprovidos de autonomia na execução de seus processos locais, logo, operacionalmente subordinados ao CSC. As operação e processos do SOD, no domínio destes *clusters* passivos, são executadas diretamente por técnicos de campo, visto que a infraestrutura legada de um CBT é desprovida de qualquer recurso de automação.

C. Estratégia de Retrofitting do Circuito Legado

O SOD caracteriza-se como um serviço ancilar à medida que atua em suporte a um serviço principal que, neste caso, trata-se do fornecimento do produto energia. Logo, é razoável considerar que, a aplicação de automação no SGO da rede legada se dê, igualmente, através de um sistema de automação ancilar, em superposição.

Esta interação entre sistemas ancilar e legado, resulta em um complexo capaz de disponibilizar, ao SGO, funcionalidades e operações de Convergência SG sem que, para isso, seja necessária a substituição radical do sistema legado [18]. A implementação de um SC é, portanto, análoga a um *retrofitting* do CBT, que dispensa o uso agentes humanos como operadores locais.

Denominar-se-á Agentes de Automação Locais (AALs), os operadores de locais de um SC. Estes são unidades eletrônicas dotadas de recursos de comunicação, sensoramento, processamento computacional, chaveamentos de potência automáticos e/ou controlados, tal como proposto em [18] e [14]. Assim, as operação e processos do SOD podem ser executadas automaticamente no SC ou remotamente controladas pelo CSC. Mais detalhes a seguir.

D. Modelo de SGO com Processamento e Controles Distribuídos

Uma forma de sobrepor, coerentemente, o Ancilar ao Legado é replicando a topologia legada, em correspondência direta, no sistema ancilar. A representação em grafos dada na Figura 1, a seguir, bem ilustra essa estrutura, a qual coincide com a arquitetura aplicada a sistemas complexos denominada de *Integron*, proposta por Ramos & Silva [19].

Este *Integron*, em particular, é composto por: uma Camada Base em que grupos de AAOs (Operadores) estão associados a um único e respectivo AAS (Subcontrolador); e uma Camada Intermediária, em que os AASs associam-se a um único AAP (Controlador do SC). Apesar de omissão desta ilustração, o CSC corresponde ao topo desta hierarquia de *Integron*, logo, subordinam-se a ele, todos os AAPs.

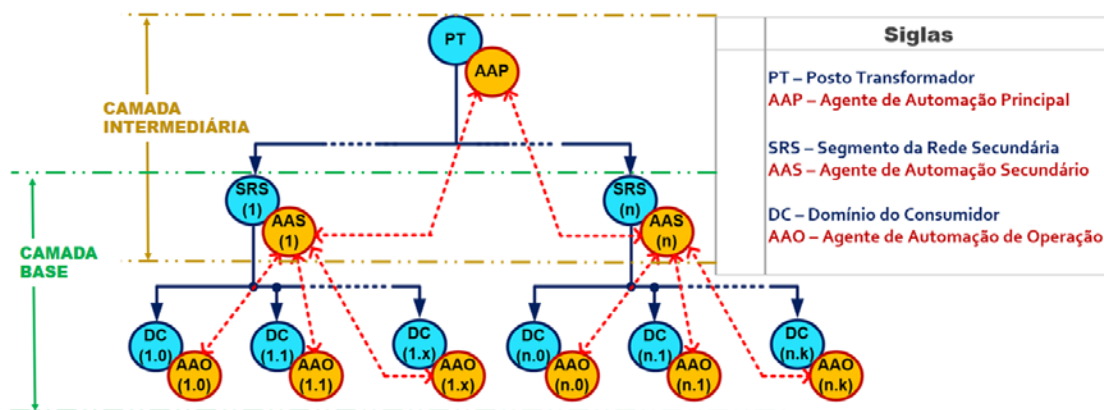


Figura 1 – Representação em grafos da estrutura básica de interação entre componentes do SAA e seus contrapartes no CBT em um SC.

Esse é um modelo de SGO correspondente a uma federação de *clusters* remotos operacionalmente autônomos denominados SCs (CBTs com *retrofitting*), o qual constitui-se na síntese do modelo de Convergência SG proposto neste artigo. Lembrando que os AALs são os componentes fundamentais de um SC [14].

A Figura 2, a seguir, descreve a composição e estrutura básica de um AAL genérico, através de um diagrama de definição de blocos (*Block Definition Diagram – BDD*) da SysML. Este será referenciado, em toda a descrição funcional do modelo SGO baseado em SC, a ser realizada ao longo da próxima seção.

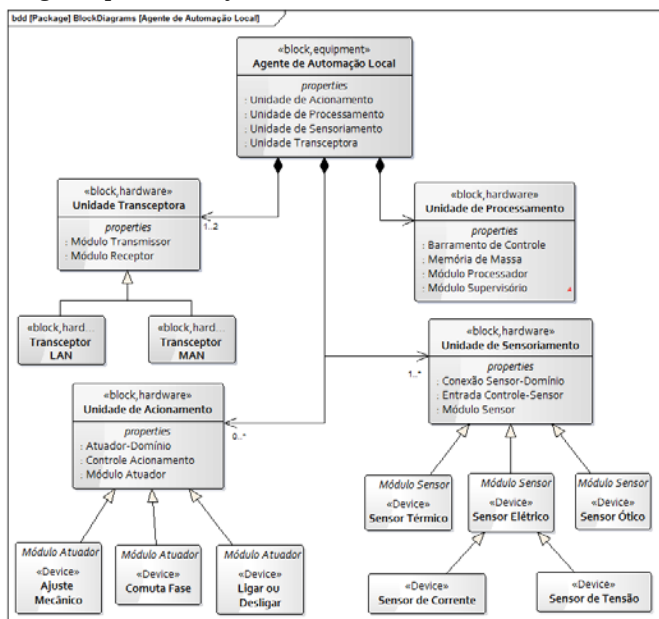


Figura 2 - BDD descrevendo a estrutura e composição genérica de um AAL.

Tal como ilustrado, todos AALs possuem ao menos uma Unidade de Sensoriamento, entretanto, alguns não dispõem de Unidade de Acionamento. Transceptor LAN é presente em todos AAL para a comunicação interna ao SC, porém, apenas o AAP possui também um transceptor MAN, para comunicação com o CSC (externa ao SC). Ressalta-se não haver, no presente modelo, qualquer imposição quanto à tecnologia usada na implementação destes transceptores.

III. ASPECTOS FUNCIONAIS DA ARQUITETURA DE SMART CIRCUIT

Funcionalmente, uma peculiaridade do SC é sua capacidade de realizar localmente registros, processamentos, e definições de controles/acionamentos conforme o interesse local de cada *cluster* remoto (CBT); sem, com isto, retirar do CSC a condição característica básica de:

- Destino final dos dados de medição para armazenamento e,
- Último nível decisório do modelo de árvore hierárquica adotado.

A. Perfis e Modos Funcionais

As propriedades de definição de uma SG foram elencadas na Tab. 1, como requisitos funcionais a serem implementados no modelo de convergência da presente proposta. Para tal, papéis funcionais são requeridos dos AALs de um SC, a fim de implementar operações e processos do novo modelo de SGO em questão. Estes papéis, que se desenvolvem tanto no âmbito sistêmico quanto de domínio, estão aqui classificados em Perfis e Modos funcionais, tal como disposto na Tab. 3, a seguir.

TABELA III. DESCRIÇÃO DOS MODOS FUNCIONAIS E RESPECTIVOS PERFIS FUNCIONAIS DOS AGENTES EM PROCESSOS SISTÊMICOS.

Perfil Funcional	Modo Funcional	Descrição
Controlador	Controle	Ações de Comando que dão início e orientam a execução de operações e processos (sistêmicos ou de domínio) em um SC.
	Análise	Ações de Processamento que transformam excitações (dados de entrada) em respostas (dados de saída) úteis (informações) a alguma outra parte do sistema.
Operador	Aquisição	Ações que envolvem Sensoriamentos e Registro de variáveis concernentes à operação da planta. Nisto incluindo-se também o processo de Medição.
	Atuação	Ações de domínio, Acionando recurso(s) aplicado(s) à implementação de algum serviço de automação de interesse do sistema.

Subjacente ao desenvolvimento desses modos funcionais (classes de operações), primitivas de operação (operações nucleares) precisam ser recorrentemente invocadas. Ou seja,

um agente, sob determinado perfil funcional, implementa modos funcionais na execução de sequências ordenadas de operações nucleares, visando, em última instância, o estabelecimento de funcionalidades que atendam a um ou mais dos requisitos elencados na Tab.1.

Na Tab. 4, a seguir, constam elencadas, típicas de tais primitivas. Nela, pode-se observar a correlação dessas primitivas a modos funcionais específicos.

TABELA IV. RELAÇÃO E DESCRIÇÃO DE PRIMITIVAS DE OPERAÇÃO.

Primitiva	MF	Descrição
Sensoriamento	Aquisição	Leitura de variáveis de operação da planta de distribuição (incluindo inspeções visuais).
Registro		Armazenamento (temporário ou permanente) de dados de interesse do sistema.
Comunicação	Atuação	Suporte à troca de dados entre os agentes do sistema, independentemente do tipo de mídia.
Sincronismo		Ajuste dos relógios internos dos agentes do SC, tendo o Controlador Master como base de referência.
Sinalização		Deteção, registro e comunicação da ocorrência de eventos de interesse no sistema.
Processamento	Análise	Recurso computacional aplicado à definição das ações de controle a serem realizadas em um sistema.
Acionamento	Controle	Recurso de automação aplicado ao restabelecimento ou mudança no status de operação (de parte ou todo) de algum domínio de um SC.
	Atuação	

B. Classe de Operações

Os Modos Funcionais citados na Tab. 3 são, na verdade, as classes de operações implementáveis pelos agentes de um SC. Essas operações podem ser restritas ao domínio de associação do agente, sendo assim chamadas Operações de Domínio (ODs), ou podem envolver interações com outros domínios, sendo então denominadas de Operações Sistêmicas (OSs).

Visando a descrição da estrutura sistêmica e hierárquica de um SGO baseado em SC, a Figura 3, a seguir, apresenta um esquema, cujo o enfoque é mais específico, ao fim em questão, que aquele dado na Figura 1.

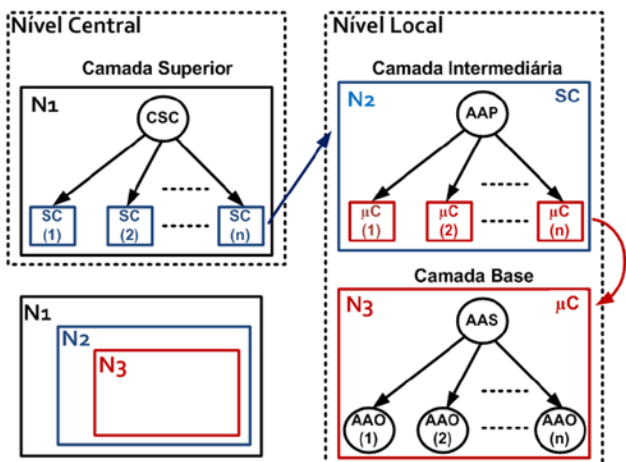


Figura 3 – Representação em grafos da estrutura hierárquica do modelo de SGO baseado em SC.

Neste diagrama, descreve-se uma hierarquia de três camadas em que, o Nível Central abrange e corresponde à Camada Superior (N1), enquanto a Camada Intermediária (N2) e Base (N3) compõem o Nível Local. Em cada camada do Nível Local, observa-se que um AAL detém certa supremacia hierárquica no respectivo *cluster*.

Observa-se ainda que o AAP possui, nesse contexto, o perfil sistêmico de Controlador do Nível Local, exercido com autonomia concedida e supervisionada pelo CSC. Semelhantemente, ao AAS, sob supervisão de um AAP, cabe o controle sobre os PSs do microcircuito (μC) formado pelo conjunto de AAOs de sua abrangência; sendo, por isso, denominado de Subcontrolador. Esta peculiaridade da presente arquitetura *Integron* está bem ilustrada na parte inferior esquerda da Figura 3.

C. Classe de Processos

Um processo nada mais é do que uma Macro-Operação relativa à execução de uma sequência ordenada de operações nucleares, tais quais, aquelas elencadas na Tab. 4. Os processos em um SC podem ser classificados em dois tipos: os Processos de Domínio (PDs) e Processos Sistêmicos (PSs).

1) Processo de Domínio – PD

Um PD decorre da execução de um conjunto de operações, visando atender a demanda estabelecida a partir da relação biunívoca dos AALs com seus respectivos domínios legados. Eles são de dois tipos:

a) *Remotamente Controláveis (PD_RC)* – Disparados a partir de uma requisição externa ao domínio e

b) *Automáticos (PD_A) ou Localmente Controlados (PD_LC)* – Se estabelecem com base em configurações prévias e internas ao domínio.

A Tab. 5, a seguir, bem descreve tais processos, o domínio de implementação e o agente responsável. Com estes processos, o modelo de SGO baseado em SC consegue atender, ainda que parcialmente, alguns dos requisitos de SG elencados na Tab. 1.

TABELA V. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DE DOMÍNIO, CLASSE (TIPO) E OS RESPECTIVOS AGENTES LOCAIS RESPONSÁVEIS PELA IMPLEMENTAÇÃO.

Domínio	AAL	Classe		Processos
PT	AAP	1	RC	Manobras no primário (On/Off) e Ajuste de TAP.
		2	A/LC	Monitoramento de transformador e Controle de banco de baterias.
RS	AAS	3	RC	Monitoramento de níveis de tensão (DRP/DRC) da rede.
		4	A/LC	Deteção e localização de faltas e Controle de bancos de capacitores distribuídos.
DC	AAO	5	RC	Corte/Religamento de UCs e Chaveamento de circuitos entre Fases.
		6	A/LC	Medição de energia e Desconexão automática de carga, após interrupção de fornecimento.

O diagrama de atividade ilustrado na Figura 4, a seguir, apresenta o modelo geral de um PD. Nele consta explícito, os

modos funcionais de Aquisição, Análise e Atuação, enquanto o Controle, encontra-se implícito na atividade de Parametrização. Além disso, vale ressaltar que, os “Dados de Recepção” aplicados à Análise, são dados de Controle enviados pelo CSC, para o caso de um PD_RC.

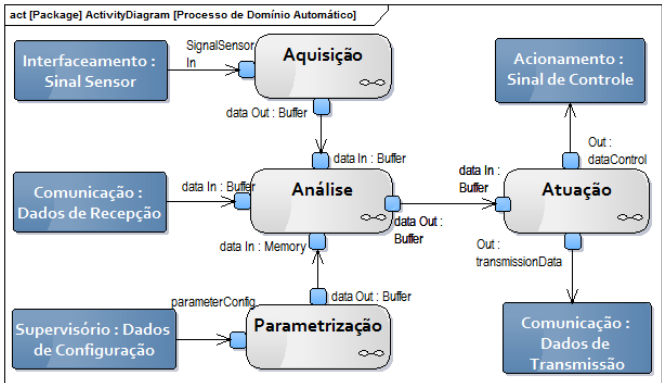


Figura 4 – Diagrama de Atividade descrevendo o modelo geral das operações em um PD.

Outra observação importante é que a atividade de Atuação decorre da Análise que, por sua vez, tanto pode ser acionada ou por comando externo, no caso de um de PD_RC, como por definição interna ao SC ou ao AAL (a partir da Análise dos dados de Aquisição e Parametrização), para os casos de PD_LC e PD_A, respectivamente.

Na Figura 5, a seguir, consta o diagrama de atividade especificando detalhes da operação relativa à Parametrização. Mesmo não ilustrados, o mesmo há para os demais módulos do diagrama dado na figura em questão.

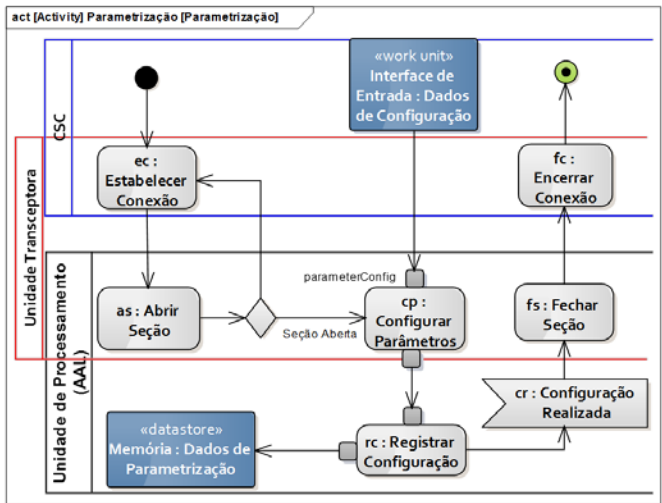


Figura 5 – Diagrama de Atividade descrevendo o modelo geral de operações na Parametrização (Configuração de Parâmetros) de um AAL.

Por definição, todas as operações descritas nestes diagramas são ODs, que, por isso, são consideradas operações básicas de um PD. Única exceção é a operação de comunicação com o CSC, requerida na execução de um PD_RC; esta corresponde a uma OS realizada entre CSC e AAL. O diagrama dado na Figura 4, demonstra-se suficientemente genérico para representação de PDs tanto com AALs dotados apenas de Unidade de Sensoriamento quanto o caso daqueles dotados de Unidade de Acionamento, também.

2) Processos Sistêmicos – PS

O PS caracteriza-se por sua execução depender da interação cooperativa entre agentes de distintos domínios do SC. Esse tipo de processo implica em funcionalidades que jamais poderiam ser obtidas sem a atuação coordenada entre os distintos agentes do sistema. Na Tab. 6, a seguir, consta a relação dos principais PSs implementáveis no modelo de Convergência SG proposto no presente trabalho.

TABELA VI. DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS PROCESSOS SISTÊMICOS PREVISTO NO MODELO SC.

Processos Sistêmicos	Síntese Descritiva
1 Gestão de Interrupções (outage)	Deteção, localização e alarme de interrupções no fornecimento de energia.
2 Balanceamento de Cargas	Reconfiguração do arranjo das cagas secundárias por remanejamento de circuitos entre as Fases.
3 Monitoramento de Perdas Não-Técnicas	Deteção e localização de Ligações Clandestinas, em tempo real aproximado.
4 Balanço de Energia	Quantificação e estratificação de Perdas por CBT.
5 Manobras On/Off a Vazio	Desconexão/Conexão do primário com secundário sem carga.
6 Black-start	Reconexão coordenada das UCs, após retomadas do fornecimento de energia.
7 Coordenação e Despacho de Microgeração Local	Contabilidade de créditos de fornecimento de excedentes, armazenamento centralizado local e implementação de UPS com operação ilhada.
8 Gestão do Consumidor	Telemedição, Controle de Inadimplência, Serviços de Interface com o Usuário.

Diferente do que se poderia esperar, OSs não são, sozinhas, a base de execução de um PS, tal como são ODs para os PDs. Na realidade, todo PS ou tem início e/ou finaliza-se com uma OD, visto que toda funcionalidade implementável no presente modelo de SGO depende, em última instância, de uma OD. Isso pode ser representado conforme as seguintes expressões.

$$PS=OD+OS \text{ ou } PS=OD+OS+OD$$

Na Figura 6, a seguir, consta um diagrama de sequência com a representação genérica de uma OS (síncrona), que combinada às ODs já descritas, possibilita-se a descrição de grande parte das implementações dos PSs elencados na Tab.5.

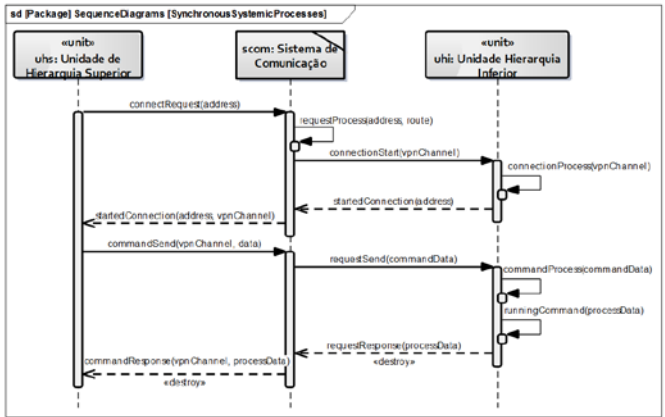


Figura 6 – Diagrama de Sequência descrevendo o modelo geral de OSs (no caso, apenas as síncronas).

Os PSs podem ser classificados em três tipos: os absolutamente autônomos (PS_AA), os de controle compartilhado (PS_CC) e os acionados remotamente (PS_AR). O primeiro caso trata de processos cuja execução depende somente de definições locais do SC. O segundo caso, refere-se aos processos cuja execução tem início localmente, mas o controle é, em parte (ou em algumas etapas), cedido ao CSC. O terceiro caso, refere-se aos processos executados inteiramente sob o comando do CSC.

Enquadram-se na categoria de PS_AA, os processos de ‘Gestão de Interrupções’, ‘Monitoramento de Perdas Não-Técnicas’ e ‘Black-start’. Na categoria PS_CC, estão: ‘Balanceamento de Carga’, ‘Balanço de Energia’, ‘Coordenação e Despacho de Microgeração Local’, ‘Telemedicação’ e ‘Interface com o Usuário’. Como PS_AR, tem-se: ‘Manobras on/off a vazio’ e o ‘Controle de inadimplências’.

D. Avaliação do Nível de Atendimento aos Requisitos de SG

Foge ao escopo deste trabalho, a análise qualitativa do modelo de convergência SG proposto, visto que implicaria em prévia definição de métricas ainda não disponíveis; pelo que se constitui em excelente tema para trabalhos futuros, estabelecendo-se, com isto, uma alternativa importante para comparação desta com outras soluções.

Nesta pesquisa, entretanto, buscou-se a quantificação de funcionalidades implementáveis, em correlação à capacidade de atendimento aos requisitos definidos na Tab. 1. Tal abordagem consta sintetizada na Tab. 7, a seguir.

TABELA VII. RELAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS DE SGO BASEADO EM SC COM REQUISITOS DE SG ATENDIDOS.

SGO baseado em SC	Processos do Modelo											
	Domínio						Sistêmicos					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8
Requisitos de SG												
1									✓		✓	
2	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4												✓
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Os processos 5 e 6 foram omitidos por já constarem em PSs. Vale destacar ainda, o predomínio das funcionalidades aplicadas aos requisitos de Resiliência (2), Automação Pervasiva (3), e Eficiência e Qualidade (5). Porém, isto não significa negligência aos demais requisitos.

IV. CONCLUSÕES

A abordagem sistêmica para especificação de um modelo de arquitetura *Integron*, implementando automação ancilar com *retrofitting* do circuito legado de BT para conversão, deste legado, em um *Smart Circuit* (SC), demonstrou aqui promissora para a Convergência *Smart Grid* (SG) de sistemas de distribuição em baixa tensão. O modelo de sistema de gestão da operação (SGO), propondo a implementação integrada de funcionalidades do paradigma SG, em um único sistema, fazendo contraponto à alternativa, atualmente, predominante de integração de múltiplos sistemas que

implementam cada uma dessas funcionalidades, individualmente, constitui-se na mais importante contribuição dada pelo presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] S. M. Amin and A. M. Giacomoni, "Smart Grid- Safe, Secure, Self-Healing: Challenges and Opportunities in Power System Security, Resiliency, and Privacy". *IEEE Power and Energy Magazine*. pp. 33 - 40, Sept. 2012.
- [2] H. Farhangi, "The Path of the Smart Grid". *IEEE Power & Energy Magazine*. pp. 18 - 28, Jan./Feb. 2010.
- [3] L. Kumpulainen, et al. "Improved monitoring and control of distribution network by smart MV/LV substations," in *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe 2011), 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on*.
- [4] R. Greer, W. Allen, J. Schnegg, and A. Dulmage, "Distribution automation systems with advanced features," in *Rural Electric Power Conference (REPC), 2011 IEEE*, pp. C4 (1 - 15).
- [5] N. Sharma & S. Akhouri, "Enabling Distributed Meter Management Using Mediation System". *Energy 2014: The Fourth International Conference on Smart Grid, Green Communications and IT Energy-aware Technologies*. Chamonix, France, April 20 - 24.
- [6] D. G. Hart, "Using AMI to realize the Smart Grid," in *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE*, pp.1-2, 20-24 July 2008.
- [7] E. Negeri, F. Kuipers, and N. Baken, "Assessing the topological structure of a smart low-voltage grid." Delft University of Technology: Network Architectures and Services Department, Course Project Report. Netherlands, 15 Dec. 2014.
- [8] R. Brown, "Impact of Smart Grid on Distribution System design," in *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE*, pp. 1 - 4, 20-24 July 2008.
- [9] F. Shahnia, P. J. Wolfs, and A. Ghosh, "Voltage Unbalance Reduction in Low Voltage Feeders by Dynamic Switching of Residential Customers Among Three Phases". *IEEE Transaction Smart Grid*. Vol. 5, No. 3, pp. 1318 - 1327, May. 2014.
- [10] V. Calderaro, C. N. Hadjicosti, A. Piccolo, and P. Siano, "Failure Identification in Smart Grids Based on Petri Net Modeling". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. Vol. 58, No. 10, pp. 4613 - 4623, Oct. 2011.
- [11] P. Parikh, "Distribution System Automation". University of Western Ontario: Electrical and Computer Engineering Department. Course Project Report. Ontario, 2009.
- [12] I. O. Okeke, "The Influence of Network Topology on the Operational Performance of the Low Voltage Grid," Master of Science Thesis, Department of Computer Engineering at Delft University of Technology, Netherlands, 26 Sep. 2012.
- [13] D. Schwartz, A. Davis, B. Fischhoff, W. B. de Bruin, L. Lave, J. Wang, "Preparing for smart grid technologies: A behavioral decision research approach to understanding consumer expectations about smart meters," in *Energy Policy, Elsevier*, Feb. 2012
- [14] R. C. Gomes, C. T. da Costa Jr. & J. R. Silva, "Arquitetura de *Smart Circuits* aplicada a Redes de Distribuição em Baixa Tensão," no *IV SAISEE - Seminário de Automação Industrial e Sistemas Eletro-Eletrônicos*, 2016 IWCA (Inatel Week of Control and Automation). Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais - Brasil.
- [15] T. Weillkiens, "Systems Engineering with SysML/UML: Modeling, Analysis, Design". MK/OMG Press, 2008.
- [16] L. Delligatti, "SysML Distilled - A Brief Guide to the Modeling Language". Addison-Wesley, Person Education, Inc., 2014.
- [17] N. Moreno, "Smart Grids - Modelagem Regulatória de Infraestruturas". Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2015.
- [18] R. C. Gomes, A. L. Printes & C. M. Ramos, "Proposta de Sistema com Arquitetura para Implementação de uma *Smart Grid* na Rede de Distribuição em Baixa Tensão", *III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos - SBSE*, Belém, Pará, 2010.
- [19] R. L. Ramos & J. R. Silva, "Integrated Control of Building Systems". *Proceedings of III SBAI*, (in Portuguese), Vitória, Brazil. 1997.