



Proposal of *Smart Grids* in communities of Amazonas State

Lívia Guimarães Maciel¹, Israel Francisco Benitez Pina²

¹Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Aluna do Curso de Especialização em Mecatrônica Industrial. Eng^a. Eletricista, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: liviagmaciel@gmail.com

²Universidade do Estado de Amazonas - EST-UEA, Manaus, AM, Brasil, Eng. em Controle Automático. Doutor em Automática e Computação. E-mail: benitez.israel@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this article is to discuss the potential and the importance of using renewable energy for State of Amazonas's communities. Propose the integration of multiple sources of power generation. The hybrid systems can complement hydroelectric and thermoelectric generation in the region, diversifying the electric park. And the smart grid use seeking to increase efficiency and reduce system losses. Propose a smart grid using MaSe methodology for formal design and to study the dynamics of generation planning with extended hierarchical Petri nets GHENeSys, thus increase efficiency and reduce system losses.

Keywords: *Smart Grids*, intelligent automation, renewable energy.

Proposta de *Smart Grids* em comunidades do Estado do Amazonas

RESUMO

Buscou-se identificar as potencialidades e a importância da utilização das energias renováveis para as comunidades do Estado do Amazonas. Propondo a integração das várias fontes de geração de energia, em sistemas híbridos, para que se possa complementar as gerações hidroelétrica e termoelétrica da região, diversificando o parque elétrico e buscando um melhor atendimento das comunidades. E a proposta de *smart grid* usando a metodologia MaSE para o design formal, e para estudar a dinâmica do planejamento da geração se utiliza as redes de Petri hierárquicas estendidas GHENeSys, sendo assim procurando aumentar a eficiência e reduzir as perdas do sistema.

Palavras-chave: *Smart Grids*, automação inteligente, energia renovável.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui um perfil hidrotérmico de geração de energia elétrica, sendo que a maior parcela vem da geração hídrica o que gera eletricidade a preços competitivos e com reduzida emissão de gases do efeito estufa. Embora o país ainda tenha potencial hídrico a ser explorado; a expansão da geração hidroelétrica esbarra nas restrições das leis de proteção ambiental impedindo ou retardando a implantação de novas hidroelétricas. Sendo assim, “[...] enquanto para grande parte dos países, a formulação e execução de políticas de fomento a fontes alternativas e renováveis de geração de energia elétrica são relevantes e estratégicas, no Brasil, aparentemente, tal relevância não caberia, pois o país detém grande potencial hídrico a ser explorado e tem nível de emissão de CO₂ bem abaixo da média mundial” [1].

Além da característica hídrica, o país possui um dos maiores e melhores potenciais do mundo para ampliar suas ofertas energéticas alternativas e renováveis de forma conjunta, aspecto que se explorado podem torná-lo referência mundial na produção com fontes de energias renováveis. A utilização destas fontes deve buscar aumentar a oferta de energia, complementando assim a geração hídrica, e reduzindo os custos desta produção, envolvendo deste modo a sustentabilidade e o cuidado com a preservação do meio ambiente.

Essa integração de diferentes fontes de geração de energia para suprir a demanda institui os sistemas híbridos de geração, os quais podem ser uma alternativa de geração distribuída sustentável, e podem ter as mais variadas formas de geração, como por exemplo, solar-diesel, eólica-solar-diesel, biogás, entre outras.

Para que o sistema híbrido de energia seja mais eficiente e com menos desperdício é necessária a automatização do processo, o uso da chamada tecnologia *Smart Grid* que integra cada aspecto do sistema de rede elétrica em um único arranjo, unificado, de modo que haja monitoramento consistente ao longo de cada etapa do processo de geração, transmissão e consumo de energia elétrica, ajudaria a conseguir este objetivo. E também incluiria a possibilidade de monitoramento remoto das condições do sistema.

“Todo o parque geracional de energia na região amazônica tem basicamente como matriz energética a hidroelétrica ou termoeletrica,” [2] além de características bem peculiares da região quanto ao mercado consumidor.

“O mercado de energia elétrica na RA [região amazônica] pode ser subdividido em três tipos com características bem distintas.” [3] Sendo o primeiro o mercado de energia das capitais dos estados – Mercado das Capitais, o segundo são as áreas urbanas dos municípios e pequenas localidades – Mercado Elétrico Concentrado e o terceiro, o Mercado Elétrico Disperso, pequenas vilas dispersas e isoladas, de baixa densidade demográfica e renda.

No cenário amazônico, apesar de ser uma região de grande potencial, as características geográficas, restrições ambientais e técnicas inviabilizam a implantação de redes de distribuição convencionais. “Existem diversos pequenos sistemas de produção híbrida de energia elétrica na Amazônia.” [4] Várias pesquisas já foram realizadas buscando alternativas de geração de energia – principalmente área rural – para a região amazônica [5][6][7][8] entre outros, o que possibilitaria a diversificação do parque elétrico e o atendimento das comunidades isoladas da Amazônia.

Visando estratégias para os resíduos urbanos um estudo realizado em 2012 pelo Centro Estadual de Mudanças Climáticas (Ceclima/SDS), com base em quatro municípios do Estado, considerados maiores do ponto de vista de geração resíduos sólidos: Parintins, Manacapuru, Itacoatiara e Maués. Identificou a possibilidade de aproveitar o mercado de energia elétrica de lixo, uma vez que, segundo dados desse estudo a média brasileira de resíduos de material orgânico depositados em aterros e lixões chega a 51%, e essa média no Amazonas é de quase 65%. Entretanto, as exigências ambientais para instalação de tais usinas também são grandes.

A chegada do Linhão de Tucuruí interligou Manaus e os municípios de Uruará, São Sebastião do Uatumã, Itapiranga, Silves, Itacoatiara e Rio Preto da Eva ao SIN (Sistema Interligado Nacional) e há planejamento para a interligação dos municípios de Parintins, Barreirinha, Boa Vista dos Ramos, Maués, Urucurituba e Nova Olinda do Norte. Essa interligação pretende suprir a necessidade de energia do Estado, reduzindo a geração termoeletrica e aumentando a confiabilidade do sistema. Ainda assim, mesmo com esta interligação é necessário incluir novas fontes de geração, para um aproveitamento melhor das outras fontes renováveis e para garantir suprimento em condições críticas.

Em Parintins há um programa que faz parte da implantação do Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente. “[...] A AmE [Amazonas Distribuidora de Energia S/A] vem

desenvolvendo o Projeto de *Smart Grid* na cidade[...]. No âmbito deste projeto estão sendo avaliadas tecnologias para automação de religadores, monitoramento remoto de transformadores de distribuição, instalação de medidores inteligentes nas unidades consumidoras, além da implantação da geração distribuída” [10]. Neste trabalho, buscou-se identificar as potencialidades e a importância da utilização das energias renováveis para as comunidades do Estado do Amazonas. Propondo a integração das várias fontes de geração de energia, em sistemas híbridos, para que se possa complementar as gerações hidroelétrica e termoeletrica da região, diversificando o parque elétrico e buscando um melhor atendimento das comunidades. Na seção dois se apresentam as tecnologias alternativas de geração de energia para ser utilizadas em geração híbrida. Na seção três a adequação do modelo *smart grid* para a região do Amazonas. Na seção quatro se apresentam propostas para algumas comunidades no Amazonas.

2. TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS QUE PODEM SER UTILIZADAS EM GERAÇÃO HÍBRIDA NO ESTADO DO AMAZONAS

Para complementar a geração térmica (óleo diesel e gás natural) as tecnologias alternativas que podem ser usadas dependem do potencial local, sua viabilidade econômica e seu mercado consumidor. A cerca deste ponto a produção acadêmica é restrita, existem poucas pesquisas que identificam as tecnologias a serem exploradas na região, além da geração fotovoltaica. A maior parte da informação é referente aos sistemas das comunidades isoladas do Amazonas, excluindo assim os municípios e a capital.

Para Figueiredo “as opções energéticas para os municípios e comunidades isoladas, analisadas por diversos autores, têm mostrado onerosas e inviáveis economicamente, por várias razões [...]” [11]. A renda da população, o custo de geração, a disponibilidade de matéria-prima entre outras fazem parte destas razões.

A tabela 1, presente no estudo de [11], mostra as vantagens e desvantagens das diferentes fontes energéticas disponíveis para o uso na Amazônia, em termos qualitativos. É importante observar que o estudo não leva em consideração questões técnicas como quantidade a ser utilizado ao dia, fornecimento de matéria para produção de energia, o custo de implantação do sistema e questões ambientais, no que se refere às questões de reserva ecológica, e culturais.

Tabela 1: Vantagens e desvantagens das fontes energéticas disponíveis na Amazônia.

Fonte energética	Distribuição Territorial	Relação com o meio ambiente	Resultado Econômico
Biomassa*	Muito grande	Excelente	Favorável
Biogás	Muito grande	Excelente	Favorável
Solar	Muito grande	Excelente	Favorável
Hidráulico	Média	Médio	Variável
Madeira	Muito grande	Prejudicial	Variável
Gás Natural	Pequena	Prejudicial	Prejudicial

Óleo	Média	Prejudicial	Prejudicial
------	-------	-------------	-------------

* Exceto Madeira

Fonte: [11].

A concessionária de energia, por meio do Projeto Ribeirinhas [12], fomentou pesquisas no eixo de energia renovável, buscando identificar as tecnologias e os tipos de geração renovável que poderiam ser utilizadas para o fornecimento de energia em comunidades isoladas. Os sistemas a seguir foram pesquisados, conforme a tecnologia disponível na época.

Sistemas Hidrocinéticos

Sistemas que utilizam rodas d'água ou turbinas para a produção de energia elétrica, impulsionadas pela velocidade do rio. No entanto, os estudos realizados pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM) mostraram que a utilização de tecnologia hidrocinética era praticamente inviável no estado do Amazonas, pois precisa que exista um trecho, de margem, com velocidade adequada e que esteja próximo a uma comunidade isolada.

Microcentral Hidrelétrica (MCH)

Uma MCH é composta por dispositivos que captam e conduzem água do rio para uma casa de máquinas, onde ocorre a transformação de energia hidráulica em elétrica através da utilização de um conjunto turbina-gerador. A água utilizada é restituída ao rio ao final do processo. A existência de uma comunidade isolada junto a uma queda d'água de pelo menos 2 metros de altura, diminui a possibilidade de utilização desta tecnologia.

Biomassa (Óleos Vegetais)

Óleos vegetais "in natura" devidamente filtrado e limpo podem ser utilizados no motor em substituição ao diesel em grupos geradores. O problema é a atividade de coleta de oleaginosas e extração de óleo em grande escala, a atividade de extração nas comunidades é secundária e esporádica, com produção reduzida.

Biomassa Sólida (Madeira e Resíduos Agrícolas)

A geração elétrica com biomassa sólida é obtida usualmente por um dos três seguintes processos: queima direta em caldeira, com produção de vapor e acionamento de máquina alternativa a vapor; queima direta em caldeira, com produção de vapor e acionamento de pequena turbina a vapor; gaseificação e acionamento de motor de combustão interna. A possibilidade de utilizar a tecnologia é restrita a poucas comunidades rurais do estado e seu uso intensivo pode ser prejudicial na floresta.

Sistemas Fotovoltaicos

A tecnologia fotovoltaica produz eletricidade diretamente dos elétrons liberados pela interação da luz do sol

com certos semicondutores. É a tecnologia mais utilizada no atendimento das comunidades isoladas, e possui uma boa eficiência na região amazônica. É um sistema que pode ser implantado em toda a região amazônica. Detalhes das possibilidades geração fotovoltaica na Amazônia pode se encontrar em [13].

Energia do Lixo com Biogás

O biogás é uma possibilidade de geração que alia redução da emissão de gases causadores de efeito estufa e geração de energia em momento de crise elétrica. Para esse sistema funcionar, o lixo é previamente selecionado pelas cooperativas de catadores à procura de recicláveis. Os orgânicos e inorgânicos são então enterrados transformando o aterro sanitário em um grande biorreator e o gás gerado no aterro é tratado e utilizado na geração de energia na usina térmica, um modelo de usina a combustão de gás está implantada no Estado do Rio Grande do Sul.

Energia do Lixo com Combustível Derivado dos Resíduos (CDR)

O processo ocorre em duas etapas, primeiro, o lixo é separado, depois o material não reciclável é dilacerado em um moinho, dando origem ao CDR. Na segunda parte, o CDR é incinerado e os gases aquecidos na produção são sugados para uma caldeira, onde o vapor ativa um turbogerador, gerando a energia elétrica. Os resíduos da queima são neutralizados e os gases resultantes são tratados e liberados na atmosfera. Há uma usina instalada na cidade do Rio de Janeiro. Essas tecnologias do lixo são possíveis ser instaladas nos municípios de Parintins, Manacapuru, Itacoatiara e Maués, considerando o volume do lixo e a demanda dessas pequenas cidades.

3 ADEQUAÇÃO DO SISTEMA SMART GRID PARA MICRO SMART GRID (MSG) AMAZÔNICA

Segundo a IEA (Agência Internacional de Energia) no documento *Technology Roadmap of Smart Grids*:

“Uma rede inteligente é uma rede elétrica que usa tecnologias digitais e outras tecnologias avançadas para monitorar e gerenciar o transporte de eletricidade de todas as fontes de geração, para atender às demandas de eletricidade variáveis de consumidores finais.” [14].

Fazendo uma adaptação tecnológica, geográfica e social desta definição para as comunidades da Amazônia se gera uma variação adaptada, gerando uma estrutura muito menor, mas ao mesmo tempo mais complicada para alcançar os mesmos objetivos. A Figura 1 ilustra um exemplo de MSG que possui três geradores renováveis.

A primeira fase é identificar as fontes de energia que mudam segundo as características das diferentes regiões, mas que geralmente não são mais de três, sempre com seu armazenamento (baterias) e sistema *backup* a diesel para

emergência. A segunda fase definir as tecnologias e estudar o design dos sistemas de interligação e controle local e geral. Na terceira etapa implementar e programar controle local e supervisão inteligente. Ao final definir estratégias de manutenção e operação eficiente em essas pequenas cidades e comunidades isoladas. A primeira fase está explicada na seção 4.

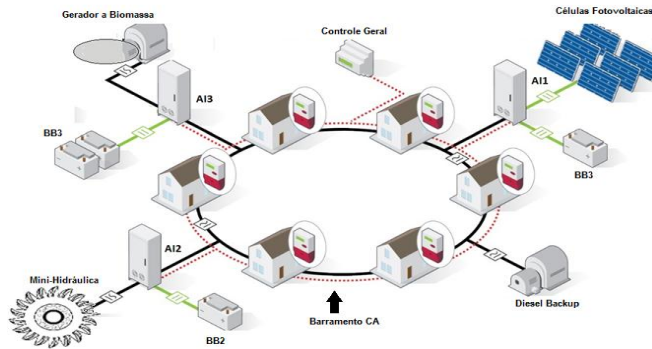


Figura 1: MSG [modificado de Circuitur SA, 15].

Na segunda fase o ICT (*Information and Communication Technology*) dentro dos projetos do EPRI [16] tem excelentes propostas onde estão integradas as áreas de pesquisa: Interoperabilidade, Comunicações, Gerenciamento e análise de Dados, Integração de sistemas e Medição Avançada. As medições avançadas são à base do sistema eficiente de gestão informática de dados com suporte em uma rede de comunicações Interoperável é essencial para o sucesso em sustentabilidade e manutenção dos serviços associados. Os medidores inteligentes têm duas funções: fornecimento de dados sobre o consumo de energia a clientes (usuários finais) para ajudar no controle de custos e consumo; e forma de comunicação entre clientes e concessionárias. As funcionalidades de um *Smart Meter* estão representadas na Figura 2.

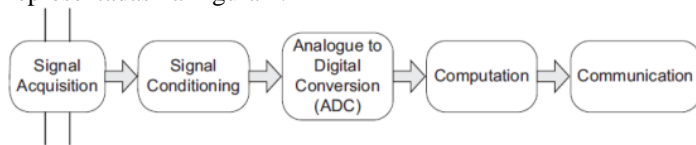


Figura 2: Blocos funcionais de um *Smart Meter* [17].

Os sistemas *Advanced Metering Systems* (AMI) desenvolvidos para a MSG devem ser integrados a arquitetura SCADA com banco de dados relacional, assim, os métodos de compressão e de gestão de dados devem ser adaptados para as condições especiais destes sistemas. No *Smart grid* a ideia principal é utilizar o que há de mais avançado no campo da automação, computação e comunicação, além do uso de fontes de energias alternativas, criando assim uma geração distribuída. Existem trabalhos neste campo que podem ser adaptados as condições particulares da Amazônia. Como exemplo está o trabalho de Barbosa [17] que tem um excelente resumo de tecnologias aplicáveis no Brasil e as experiências do projeto InovCity Aparecida.

Nas comunicações de MSG se destaca o protocolo *ZigBee* [17], baseado na norma IEEE 802.15.4-2003 como base de automação sem fio de diversas aplicações. Assim como outras novas tecnologias, o objetivo é atender aos sistemas com baixo consumo de energia, devido a esta economia, possui baixa taxa de transferência, em torno de 200kbps no máximo. O baixo custo e o fato de operarem sem a necessidade de certificação legal pela Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações), por enquadrar-se na faixa de baixa potência (menor que 1W), tornam uma opção atrativa para as concessionárias. Na Figura 3 se apresenta uma proposta de uso desta tecnologia nos usuários.



Figura 3: Aplicação *ZigBee* [17].

No campo da integração da automação, computação e comunicação tem-se destacado o uso de sistemas multiagentes inteligentes (SMA) [18, 19, 20] que permitem a coordenação eficiente das atividades dos diferentes sistemas de controle local e supervisão geral e são uma alternativa viável para zonas isoladas onde o próprio sistema tem que ser autossustentável.

A partir desta visão, se deve passar para o design formal, desenvolvendo o protótipo e os testes de simulação em laboratório dos diferentes tipos de AMI-SCADA e armazenamento de dados utilizando SMA adaptados às condições particulares da Amazônia.

A metodologia MaSE [21] utilizada para o design formal é composto por duas fases básicas: análise e design. A Figura 4 ilustra o diagrama de objetivos gerais do SMA na MSG em desenvolvimento.

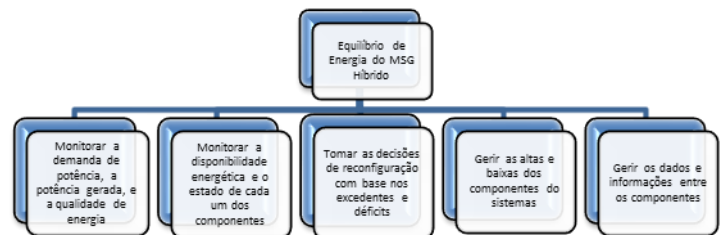


Figura 4 - Diagrama dos objetivos do SMA para geração de energia na MSG.

A primeira fase da análise de SMA segundo MaSE tem três etapas: captura dos objetivos, implementação de casos de uso e refinamento das funções. A Figura 4 mostra uma ideia dos principais objetivos. A segunda fase do design do SMA tem quatro etapas: criar os tipos de agentes, construir conversações,

preparar as classes de agentes e desenvolver design. A Figura 5 mostra nos quadros uma proposta de três agentes locais para o controle de cada gerador e um agente supervisor de controle de potência.

O estudo da dinâmica do sistema é essencial para projetos de eficiência contra a intermitências das fontes renováveis de energia, assim para verificar as propriedades e validar a dinâmica se utiliza as redes de Petri hierárquicas estendidas GHENeSys. [22]. Na Figura 5 se apresenta a modelagem da dinâmica simplificada do planejamento da geração do MSG baseada neste método. Cada um dos lugares (círculos) representa macroelementos que são desenvolvidos em sub-redes com detalhes de suas funcionalidades. Isso permite simular todo o sistema e estudar sua possível arquitetura e estratégias de funcionamento.

Como exemplo das funcionalidades da Figura 5, se avaliam as possibilidades de geração em cada fonte de energia renovável e a demanda requerida no agente supervisor (parte superior da Figura 5) se determina a porcentagem requerida para a geração em cada fonte. Esta informação é enviada para cada controle local dos geradores para estabelecer a quantidade necessária para produção.

O excesso de geração é desviado para as unidades de armazenagem de cada subsistema (BB1, BB2 e BB3 na Figura 1). Se houver pouca geração em cada fonte, se utiliza a energia previamente armazenada, mas se chegar ao nível mínimo no banco de baterias ou houver falta de geração renovável, se ativa o gerador de *backup* ou se utiliza a interligação ao SIN se possível.

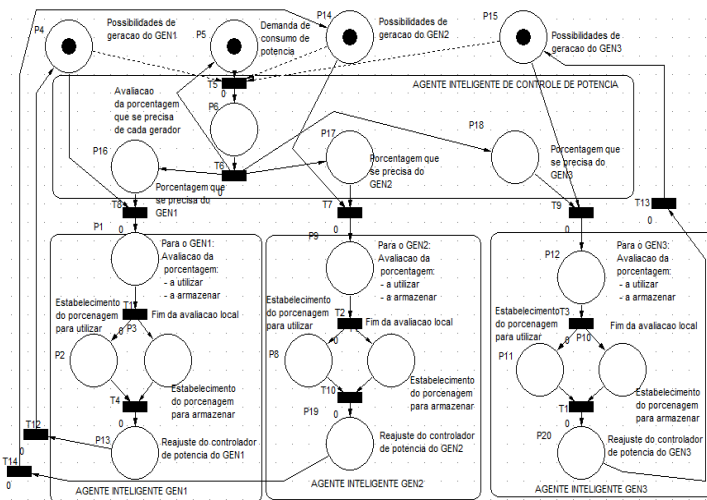


Figura 5: Modelagem da dinâmica do planejamento da geração do MSG.

Para as condições das comunidades isoladas é necessário que se consiga resolver o problema de um *hardware* de computação mínimo, de alta confiabilidade e fácil manutenção. Portanto o desenvolvimento de testes experimentais com tecnologias de baixo custo precisam ser realizados para definir a melhor solução para nossa região, como as propostas de *SmartMeters* com tecnologia *ZigBee* apresentadas neste trabalho.

Logo definida a estratégia de controle, se deve trabalhar em um suporte de *hardware* a microcontroladores de baixo custo, boa confiabilidade e fácil manutenção que permita trabalhar nas condições dessas comunidades segundo os equipamentos de geração, transmissão e distribuição requeridos.

O conteúdo a ser desenvolvido para que o MSG seja real é vasto e existe um grande espaço de pesquisa, onde apenas a cooperação do maior número de pesquisadores pode garantir a velocidade na obtenção dos resultados certos.

4. PROPOSTAS PARA AS COMUNIDADES NO AMAZONAS

Partindo dos três tipos de características do mercado energético na RA explicado na seção 1 deste trabalho, se considera que a capital requer uma atenção especial por seu grande consumo e complexidade de interligação, achando mais eficiente começar pelos outros dois mercados. Segundo os resultados do estudo de caso desenvolvido se propõem duas variantes: MSG para pequenas cidades como Parintins, Manacapuru, Itacoatiara, entre outras. Na segunda variante MSG para as comunidades ribeirinhas e/ou isoladas, como exemplo, Nossa Senhora das Graças e São Paulo Apóstolo, localizadas no município de Manacapuru e Maracarana, localizada no município de São Sebastião do Uatumã. Os detalhes serão apresentados a seguir:

a) Proposta de *Smart Grid* para Parintins

Em Parintins existe a geração termoeétrica e alguns pontos de geração fotovoltaica. Para complementar estas fontes de geração, de acordo com as características dessa região é possível implantar uma usina de geração a partir do biogás do lixo. Para isso é necessário à instalação de coleta e classificação dos resíduos recicláveis e não recicláveis. Aterrando os orgânicos e inorgânicos que permitem produzir o biogás. E instalar uma usina termoeétrica que possa usar este biogás para geração de energia.

Segundo a Figura 1, ficaria a geração de fotovoltaica, a termoeétrica a biogás e como *backup* a termoeétrica a diesel existente.

A rede de Petri ilustrada na Figura 5 mantém a mesma estrutura, porém uma das três fontes de geração passa a ser o *backup* (geração termoeétrica) que neste caso a tomada de decisão do percentual desta fonte seria utilizada em casos de geração renovável insuficiente para suprir a demanda.

b) Proposta de *Smart Grid* para Itacoatiara

Itacoatiara possui geração da concessionária por termoeétrica e do produtor independente pela queima de resíduos de madeira que gera em torno de 50% da energia consumida no município. Neste caso, se implantaria a geração fotovoltaica, e a geração por biogás. De acordo com a Figura 1,

teríamos a geração de fotovoltaica, a termoelétrica a biogás, a termoelétrica a madeira e como *backup* a termoelétrica a diesel existente.

A rede de Petri ilustrada na Figura 5 incluiria um lugar de geração, ampliando a estrutura, com uma das quatro fontes de geração como *backup* (geração termoelétrica diesel).

c) Proposta de *Micro Smart Grid* para Nossa Senhora das Graças e São Paulo Apóstolo

O sistema que alimenta as comunidades de Nossa Senhora das Graças e comunidade de Apóstolo Paulo possui geração implantada pela concessionária na época do projeto Ribeirinha por gaseificador, que utiliza como combustível resto de madeira de madeiras locais. É possível implantar nessa localidade uma usina de geração fotovoltaica para complementar a geração. Segundo a Figura 1, ficaria a geração de fotovoltaica, o gaseificador e como *backup* um gerador a diesel.

Neste caso a rede de Petri da Figura 5 mantém a mesma estrutura, porém uma das três fontes de geração passa a ser o *backup* a diesel que seria utilizado em casos de geração insuficiente ou manutenção.

d) Proposta de *Micro Smart Grid* para Maracarana

A comunidade de Maracarana foi selecionada pelo projeto Ribeirinha para receber uma geração por Microcentral Hidrelétrica, esta mini-usina não foi instalada, entretanto, há a possibilidade de geração hídrica e em conjunto com uma geração fotovoltaica que neste caso complementaria a matriz de geração da *micro smart grid* além de incluir um gerador a diesel para o *backup*.

Para este caso a rede de Petri modelada da Figura 5 também seguiria os mesmos passos dos casos anteriores.

De acordo com estes resultados, a estrutura e características da MSG das Figuras 1 e 5 pode ser utilizada para o desenvolvimento dos testes simulados e experimentais que permitam definir a arquitetura e estratégias mais viáveis em cada comunidade. Estes testes estão sendo desenvolvidos inicialmente nos laboratórios da EST-UEA (testes com geradores a fontes renováveis) e no ITEGAM (testes de *Smart Meters* e comunicações *ZigBee*), para definir as melhores tecnologias para essas condições. Na segunda etapa vão se realizar testes simulados de estratégias de controle e supervisão no DesignLab da EP-USP (São Paulo, Brasil) para confirmar a proposta final. Esta será testada de forma experimental com diferentes *hardwares* de baixo custo e alta confiabilidade nos laboratórios do CITCEA da UPC (Barcelona, Espanha). No final o projeto de implementação será apresentado às empresas locais para seu desenvolvimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da inclusão do sistema elétrico do Amazonas ao SIN, que obviamente trás inúmeros benefícios aumentando a

confiabilidade e qualidade do fornecimento de energia para a capital e os municípios do interior do estado. A própria interligação causa problemas, pois a matriz elétrica do país não se modificou ou evoluiu. Portanto, se conclui que é necessário adicionar as fontes renováveis segundo as características de cada região como explicado neste trabalho.

A MSG com SMA proposta na modelagem UML-PN permite estudar a adaptação das diferentes condições de iluminação solar, água, biogás, biomassa e outras fontes renováveis de comunidades da Amazônia. Como se exemplificou neste trabalho para pequenas cidades e comunidades isoladas. Sem os sistemas multiagentes não seria possível obter os níveis de sustentabilidade da geração elétrica para manter eficientes serviços econômicos e sociais suportados pela eficiência no suprimento elétrico dessas MSG.

As propostas para pequenas cidades e comunidades do estado do Amazonas permitiria iniciar a transformação da região numa zona com maior aproveitamento das fontes renováveis de energia no Brasil o que permitiria criar condições nessas comunidades para aprimorar o desenvolvimento sustentável e as habilidades das gerações mais jovens para implementar, operar e aproveitar essas MSG e os serviços que eles suportam.

6. AGRADECIMENTOS

Ao apoio da coordenação de Controle e Automação da EST-UEA, ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) e ao apoio do Design Lab da EP-USP (São Paulo) em projetos CAPES-MES e ao Centro de Pesquisa CITCEA da UPC (Barcelona, Espanha) em projetos CCD e Rede EFESOS.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] SILVA, Andréa Souza Batista da; GUIMARÃES, Cláudio Marcelo Matos; LORDÊLO, Fernanda Silva; PORTO, Cristiane de Magalhães. **A Importância da Utilização das Energias Renováveis para a Construção de um Desenvolvimento Econômico Sustentável para o Brasil e para a Bahia**. Diálogos & Ciência – Revista da Faculdade de Tecnologia e Ciências – Rede de Ensino FTC. ISSN 1678-0493. Ano 9. n. 27, set. 2011. www.ftc.br/dialogos.

[2] BARRETO, Eduardo José Fagundes et al. **“Tecnologias de Energias Renováveis Soluções Energéticas para a Amazônia”**. Ministério das Minas e Energia, 1ª Edição, 2008.

[3] SOUZA, Rubem Cesar Rodrigues. **Energias Alternativas: Desafios e Possibilidades para a Amazônia**. T&C Amazônia; 2003; Editora FUCAPI; 1; 1; ; 74; 80; Português; 1678-3824; Impresso.

[4] GODINHO, Gabriela. **Alguns exemplos de utilização desses sistemas no Pará**. Disponível: www.energiahibrida.com.br.

- [5] SOUZA, Rubem Cesar Rodrigues; SARAIVA DOS SANTOS, Eyde Cristianne. **Incentivos ao Uso de Biomassa para Geração de Eletricidade na Amazônia.** III Congresso Brasileiro de Regulação dos Serviços Públicos Concedidos, promovido pela ABAR-Associação Brasileira de Agências de Regulação, 25 a 28 de maio de 2003, em Gramado/RS.
- [6] SILVA, Ivete Teixeira da; ALMEIDA, Arthur da Costa; MONTEIRO, José Humberto Araújo; OLIVEIRA DA SILVA, Isa Maria; PEREIRA DA ROCHA, Brígida Ramati. **Uso do caroço de açaí como possibilidade de desenvolvimento sustentável do meio rural, da agricultura familiar e de eletrificação rural no Estado do Pará.** An. 5. Enc. Energ. Meio Rural, 2004.
- [7] CARTAXO, Elizabeth Ferreira. JANNUZZI, Gilberto De Martino. **Fornecimento de Serviço de Energia Elétrica para Comunidades Isoladas da Amazônia: Um Estudo de Caso.** Disponível em: < <http://www.fem.unicamp.br/>>.
- [8] Eletrobrás Amazonas Energia S/A. **Projeto Ribeirinhas.** Disponível em: < www.eletrobras.gov.br>.
- [9] Jornal A Crítica. **Resíduos orgânicos podem gerar energia e renda para municípios.** Set/2012.
- [10] SOUZA, Rubem Cesar Rodrigues. **Energia Renovável e Eficiência Energética – Primeiro Produto.** ECOGERMA, 2014.
- [11] FIGUEIREDO, Carlos Alberto; CARTAXO, Elizabeth Ferreira; PERES DA SILVA, Ennio. **Indicadores do Mercado de Energia Elétrica no Estado do Amazonas.**
- [12] Eletrobrás S/A - **Projeto Ribeirinhas.** Disponível em: http://www.eletrobras.gov.br/EM_Programas_Ribeirinhas/sistem as.asp.
- [13] Rômulo Pereira Cabral, Marcos Cesar Alves Pinheiro, Jandecy Cabral Leite **Geração Fotovoltaica Aplicada Em Comunidades De Sistemas Isolados Na Amazônia.** ITEGAM-JETIA Journal. Edição 1 - Março de 2015.
- [14] IEA – **International Energy Agency.** Disponível em: <http://www.iea.org/>.
- [15] CIRCUITOR SA - **Energy Efficiency Technology.** Disponível em: <www.circuitor.com> Barcelona, Espanha.
- [16] EPRI - **Electric Power Research Institute.** Disponível em: <http://smartgrid.epri.com/ICTInnovatorsForum.aspx>.
- [17] BARBOSA dos Santos, L. **SMART GRID.** Monografia. Engenharia Elétrica. UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO, 2013, Brasil.
- [18] W. Shen and D. H. Norrie. **Agent based systems for intelligent manufacturing: a state of the art survey.** *International Journal of Knowledge and Information Systems*, 1 (2), 129-156. 1999.
- [19] Brenan, R. **Toward Real-Time Distributed Intelligent Control: A Survey of Research Themes and Applications.** *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics Part C: Applications And Reviews*, VOL. 37, NO. 5, September 2007.
- [20] M. Agrawal, A. Mittal. **Overview of Multi-Agent Approach for Micro-Grid Energy Management.** *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*. 2014.
- [21] Scott A. De Loach. **The MaSE Methodology.** In: *Methodologies and Software Engineering for Agent Systems. The Agent-Oriented Software Engineering Handbook Series: Multiagent Systems, Artificial Societies, and Simulated Organizations*, Vol. 11. Bergenti, Federico; Gleizes, Marie-Pierre; Zambonelli, Franco (Eds.) Kluwer Academic Publishing (available via Springer), 2004.
- [22] BENITEZ, I.; SILVA, JR.; VILLAFRUELA, L.; GOMIS, O.; SUDRIA, A. **Modeling extended Petri nets compatible with GHENeSys IEC61131 for industrial automation.** *The Int. Journal of Adv. Manufac. Techn.* Vol.36, N.11-12. Springer London. April 2008.