



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GAT/16

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - IV

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT

**AVALIAÇÃO DE MODELOS DE AEROGERADORES QUANTO A EFICIÊNCIA, PRECISÃO E ROBUSTEZ NA
SIMULAÇÃO DE ESTABILIDADE ELETROMECCÂNICA**

Fabricio L. Lirio(*)
CEPEL

Sergio Gomes Jr.
CEPEL, UFF

Leonardo P. Almeida
CEPEL

Lígia R. Silva
CEPEL

Nícolás A.R.L. Netto
CEPEL

RESUMO

A representação adequada dos aerogeradores em programas de simulação de transitórios eletromecânicos é muito importante, principalmente considerando o grande crescimento deste tipo de aproveitamento no Brasil e o seu impacto da dinâmica do sistema. No entanto a representação de algumas plantas no Anatem tem sido exageradamente detalhada, com representação de dinâmicas fora da faixa de interesse ou malhas não ativas em estudos de sistemas, comprometendo significativamente o desempenho computacional do programa. Este artigo apresenta uma análise dos modelos de geração eólica do Anatem, impacto computacional da representação detalhada e proposta de modelagem simplificada sem comprometimento da precisão dos resultados.

PALAVRAS-CHAVE

Transitórios Eletromecânicos, Geração Eólica, Estabilidade de Sistemas de Potência

1.0 - INTRODUÇÃO

O crescimento da participação de energia eólica na matriz energética brasileira nos últimos anos é um fato real. As simulações de estabilidade eletromecânica são parte importante dos estudos elétricos envolvidos no processo de solicitação de acesso de uma Central de Geração Eólica (CGE). Portanto, torna-se muito importante a representação adequada dos aerogeradores em programas de simulação de transitórios eletromecânicos. Simulações recentes de transitórios eletromecânicos indicam que a dinâmica dos aerogeradores tem influência no amortecimento das oscilações observadas no Sistema Interligado Nacional (SIN).

O programa de análise dinâmica Anatem [1], como principal ferramenta para simulação de transitórios eletromecânicos no SIN, utiliza o Banco de Dados de Estabilidade gerenciado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), que contém a representação detalhada da dinâmica dos aerogeradores. O Anatem possui basicamente dois tipos de modelo para representação de equipamentos no sistema elétrico: modelos predefinidos ou "built-in" apresentam uma estrutura fixa na qual o usuário pode alterar somente os parâmetros do modelo e modelos na forma de Controladores Definidos pelo Usuário (CDU), que apresentam estrutura flexível definida pela conexão de blocos elementares (aritméticos, lógicos, dinâmicos, etc).

Foram implementados no programa Anatem, por volta de 2006, modelos predefinidos de aerogeradores visando atender os três tipos básicos de aerogeradores (gerador de indução, diretamente conectado, gerador de indução bobinado duplamente alimentado e gerador síncrono com conversores de tensão). Estes modelos são bastante detalhados, no entanto dependem de muitos dados do fabricante, exigem a modelagem completa e detalhada do sistema de controle de conversores e da turbina por CDU e possuem uma inicialização não trivial. A maioria dos aerogeradores do Banco de Dados de Estabilidade do ONS adota o modelo de Fonte Shunt Controlada por CDU, que permite grande flexibilidade de representação, no entanto, esta modelagem costuma resultar em modelos complexos com grande número de blocos de CDU. A nova versão do programa Anatem (11.01.00) possui a

funcionalidade de representar barras de geração, como os aerogeradores, através de cargas negativas formadas por impedância, corrente ou potência constante, ou ainda por uma combinação destas parcelas (modelo ZIP).

Este artigo apresenta uma análise dos modelos disponíveis para geração eólica em programas de estabilidade. Inicialmente são apresentadas simulações de cada um dos tipos de modelo. É então feita uma análise da possibilidade de utilização de modelos simplificados. Foi utilizado como exemplo um modelo de geração síncrona conectada ao sistema por conversores de tensão. É mostrado que os resultados na análise da dinâmica eletromecânica, utilizando um modelo muito simplificado, são praticamente os mesmos do modelo completo detalhado.

A representação de aerogerados utilizando carga negativa com modelo ZIP também é tratada neste artigo através de simulações no SIN. São analisados os impactos computacionais e de precisão de resultados dos modelos existentes de geração eólica no banco de dados do SIN comparados com simulações utilizando modelos puramente estáticos. Verificou-se que mesmo neste caso, os modos de oscilações inter-áreas são muito pouco influenciados pelo detalhamento do modelo desde que se utilize modelo PQ constante.

Outra análise apresentada no artigo é que para eventos no SIN na presença de aerogeradores, o vento pode ser considerado constante e por este motivo pode-se reduzir a complexidade dos modelos pela retirada do modelo da turbina, adotando-se a premissa de potência mecânica ou torque constante. As simulações apresentadas comprovam que os resultados são iguais.

Pelos resultados apresentados, acredita-se que é possível adotar diferentes modelos para representação dos aerogeradores no Sistema Elétrico Brasileiro, com graus de detalhamento e complexidade variáveis conforme a distância elétrica da área de interesse do estudo, que apresentem comportamento similar aos modelos originais, porém com uma redução da complexidade e do esforço computacional considerável no processo de simulação. Acredita-se que os resultados do artigo contribuam para o aumento da eficiência e robustez das simulações, possibilitando a obtenção de resultados precisos envolvendo uma grande quantidade de modelos de aerogeradores, conforme perspectiva para um futuro próximo.

2.0 - REPRESENTAÇÃO DE GERAÇÃO EÓLICA EM PROGRAMAS DE ESTABILIDADE ELETROMECÂNICA

A necessidade de dispor de ferramentas de análise que considerem os efeitos da geração eólica no Sistema Elétrico Brasileiro, surgiu com a implantação de parques no Brasil. Os esforços na modelagem de aproveitamento eólico nos programas de análise de redes (Anarede) e de análise de estabilidade eletromecânica (Anatem) do Cepel são descritos em [2] e [3]. O Cepel desenvolve vários programas para análise de sistemas elétricos de potência, usados oficialmente pelas empresas do setor elétrico brasileiro em estudos de planejamento e operação. Portanto, foi importante a inserção nestes programas de modelos apropriados de aerogeradores, de forma a permitir que os agentes realizem estudos confiáveis sobre o impacto destes equipamentos no SIN.

Uma quantidade muito grande de esquemas para aproveitamento eólico são apresentados na literatura, no entanto um Grupo de Trabalho coordenado pelo Cepel e envolvendo empresas do grupo Eletrobrás e o ONS, definiu os modelos que foram prioritariamente desenvolvidos. Outros esquemas podem ser desenvolvidos a partir de variações pequenas destes, no entanto, os modelos desenvolvidos a partir deste Grupo de Trabalho foram:

- Gerador de indução convencional conectado diretamente à rede CA (GIDC)
- Gerador de indução com dupla alimentação (GIDA)
- Gerador síncrono conectado à rede CA por conversores de tensão (GSE)

Na comparação dos três principais modelos de aerogeradores será considerado um sistema aerogerador x barra infinita, no qual são aplicados afundamentos de tensão rápidos, semelhantes ao curto-circuito com eliminação do defeito após 150 ms (Figura 1), e lentos, da ordem de 2s, para avaliação do controle de tensão (Figura 2). Os resultados obtidos para o gerador de indução (verde), gerador duplamente alimentado (amarelo) e gerador síncrono com conversor (vermelho) são apresentados a seguir.

Devido a redução da tensão e da potência ativa durante o curto o gerador de indução fornece reativo para a rede reduzindo o afundamento de tensão. Os geradores de indução duplamente alimentado e síncrono com conversor proporcionam uma rápida recuperação da tensão após a eliminação do defeito, já consumo de reativos no gerador de indução aumenta o que atrasa a recuperação da tensão. A capacidade de injeção de potência reativa no gerador síncrono é limitada pela potência do conversor. A recuperação de potência no gerador de indução resulta em oscilações eletromecânicas enquanto no gerador síncrono a recuperação é muito rápida devido a ação do controle do conversor.

Os aerogeradores de indução duplamente alimentados e síncronos com conversor tem a capacidade de controlar a tensão até o limite de reativos ser atingido. O gerador síncrono apresentado nesta comparação possui uma estratégia de controle que resulta na injeção nula de potência reativa a partir de determinado nível de tensão. Este tipo de aerogerador apresenta grande flexibilidade de controle devido a presença do conversor fonte de tensão e outras estratégias de controle podem ser implementadas para o comportamento da potência reativa mediante

afundamentos severos de tensão. Quando a tensão terminal é muito reduzida a potência ativa injetada também diminui para limitar a corrente fornecida pelo aerogerador. O gerador indução diretamente conectado não possui capacidade de controle de tensão, não permitindo a injeção de potência ativa com a tensão reduzida.

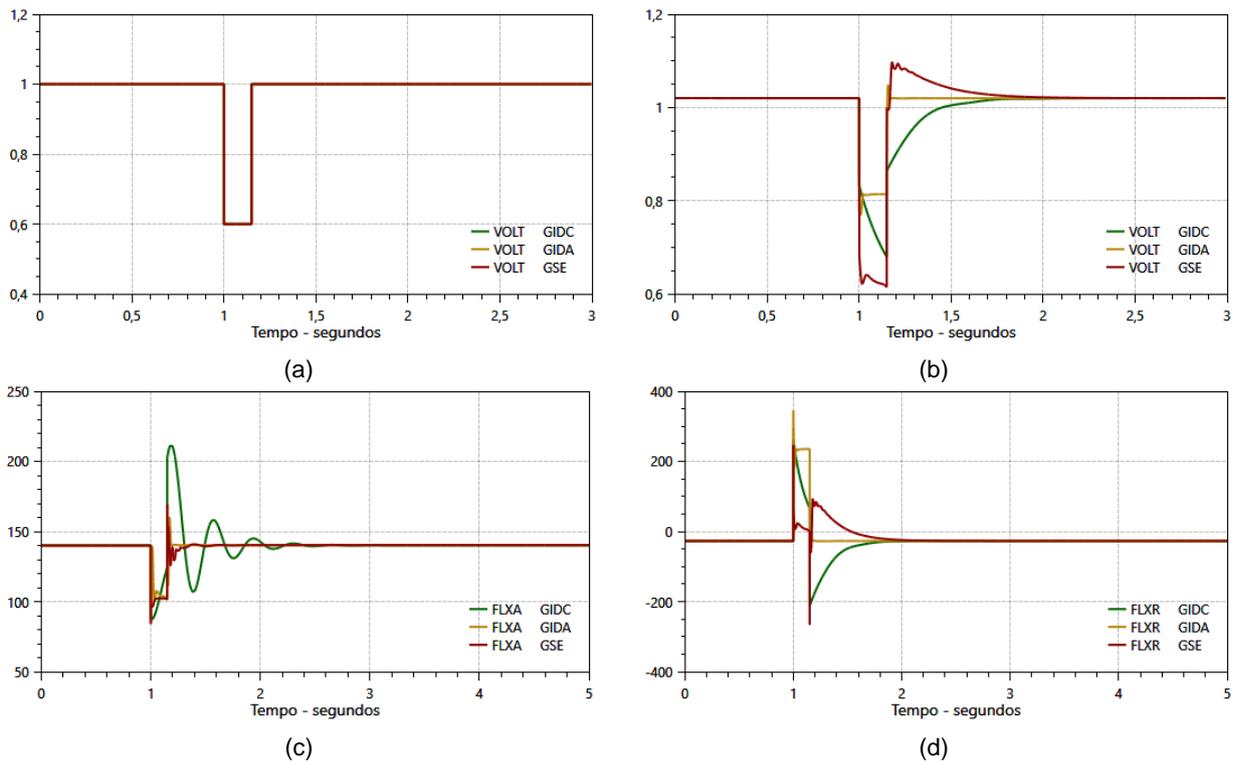


Figura 1 –Curto circuito monofásico. (a) Tensão na barra em curto, (b) Tensão terminal, (c) Fluxo ativo do gerador eólico, (d) Fluxo reativo do gerador eólico.

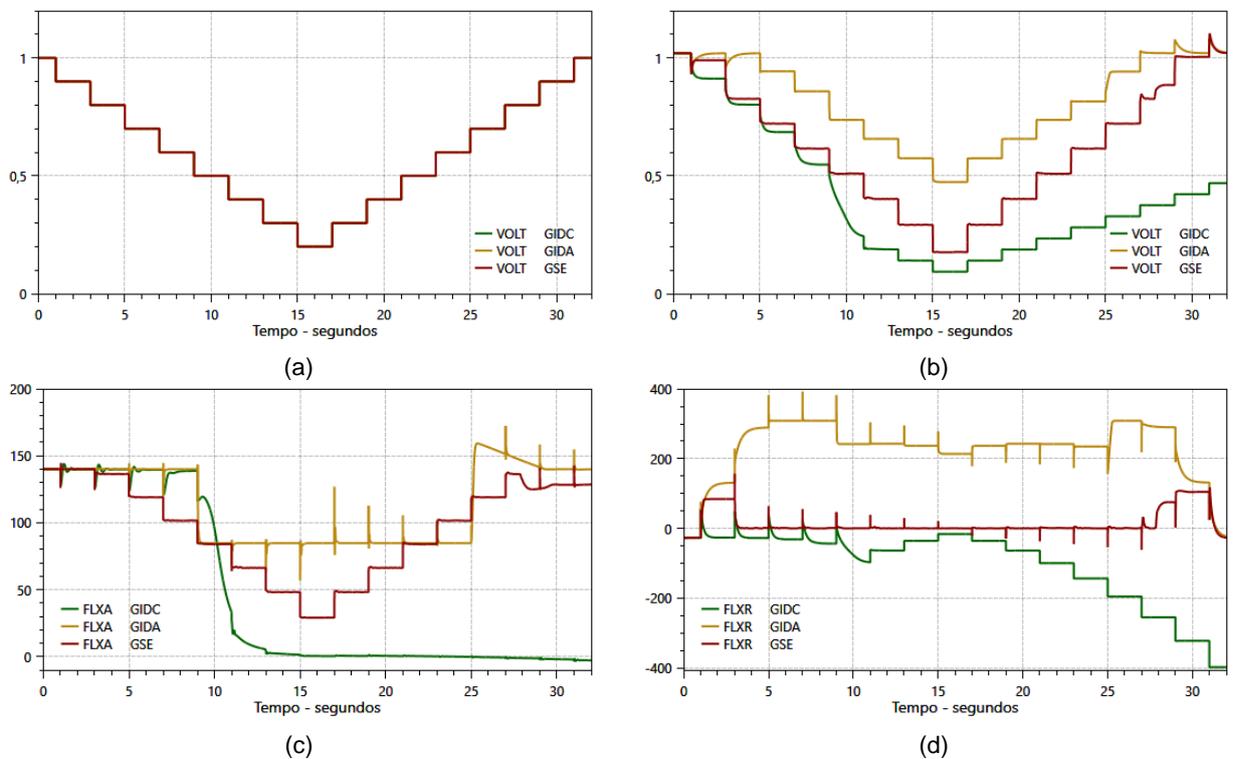


Figura 2–Degraus de tensão. (a) Tensão na barra em curto, (b) Tensão terminal, (c) Fluxo ativo do gerador eólico, (d) Fluxo reativo do gerador eólico.

Posteriormente aos desenvolvimentos descritos em [2] e [3], os modelos de aerogeradores passaram a utilizar o modelo de fonte shunt controlada (DFNT), que podem ser de tensão (equivalente Thevenin) ou de corrente

(equivalente Norton). As fontes shunt são controladas por Controladores Definidos pelo Usuário (CDU), que é uma funcionalidade do Anatem que permite a representação de sistemas de controle, conversores de potência e turbina.

A flexibilidade do CDU permite um grande detalhamento das estruturas que formam o aerogerador, por outro lado este detalhamento pode em algumas situações, levar a construção de modelos muito extensos com estruturas desnecessárias à simulação de transitórios eletromecânicos. Como por exemplo a inclusão de malhas de controle com constantes de tempo características do transiente eletromagnético e absolutamente irrelevantes na análise de transitórios eletromecânicos. Logo, um CDU muito grande e detalhado pode, em diversas simulações, ser substituído por um controlador mais simples, contendo a malha principal da dinâmica eletromecânica.

Na Figura 3 é apresentado um CDU simplificado, com poucos blocos, que apresenta resultados semelhantes a um modelo detalhado do banco de dados dinâmico do ONS [4], formado por muitas centenas de blocos elementares. O modelo completo deste aerogerador é utilizado no banco de dados para representação de um gerador síncrono com conversor utilizando a fonte de corrente controlada por CDU.

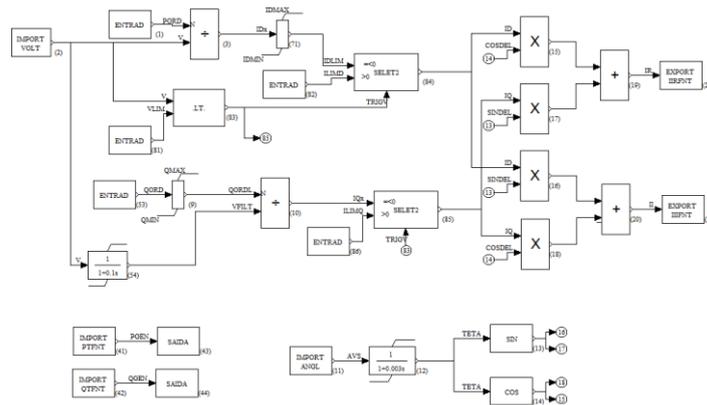


Figura 3—Diagrama de blocos do CDU simplificado.

Os resultados de comparação, entre o modelo completo e o modelo simplificado da Figura 3, são ilustrados na Figura 4 para um sistema gerador eólico x barra infinita, considerando um evento de redução em degrau da tensão da barra infinita.

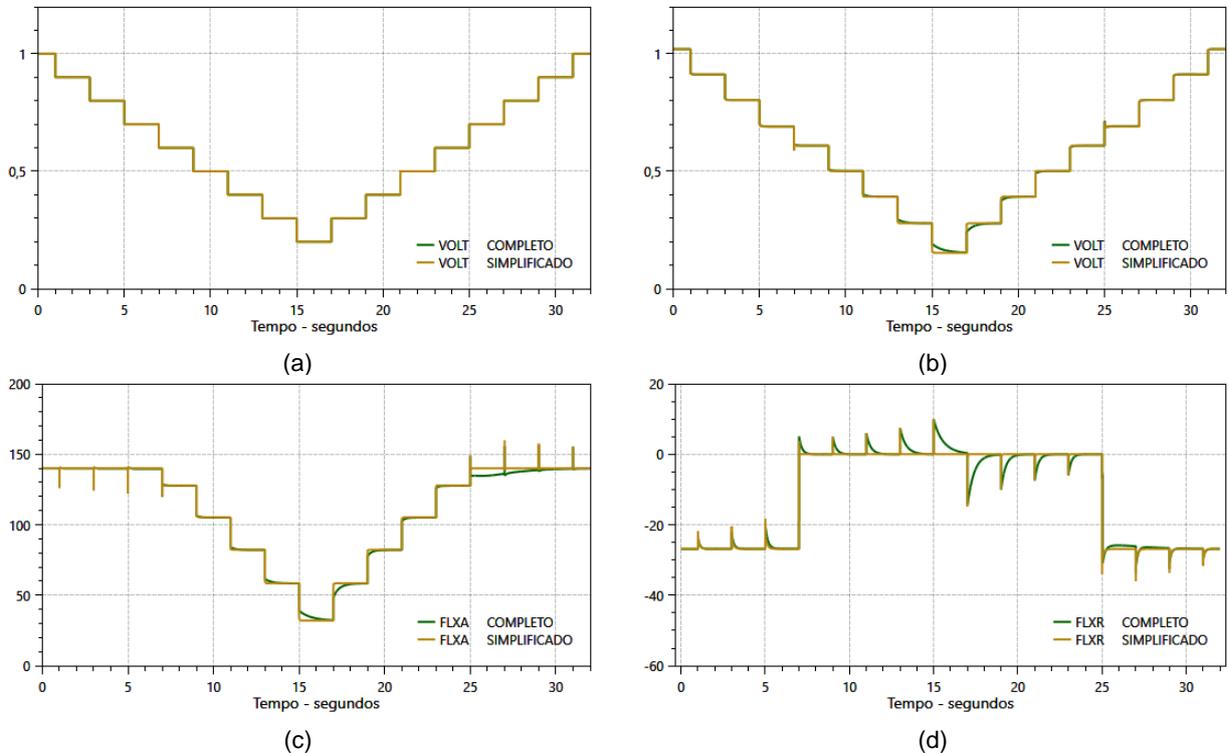


Figura 4—Comparação CDU completo e simplificado. (a) Tensão na barra em curto, (b) Tensão terminal, (c) Fluxo ativo do gerador eólico, (d) Fluxo reativo do gerador eólico.

A avaliação do desempenho dinâmico deste modelo simplificado também pode ser realizada considerando um rede elétrica simples, formada pelo gerador eólico, um gerador síncrono e uma barra infinita, conforme mostrado na Figura 5.

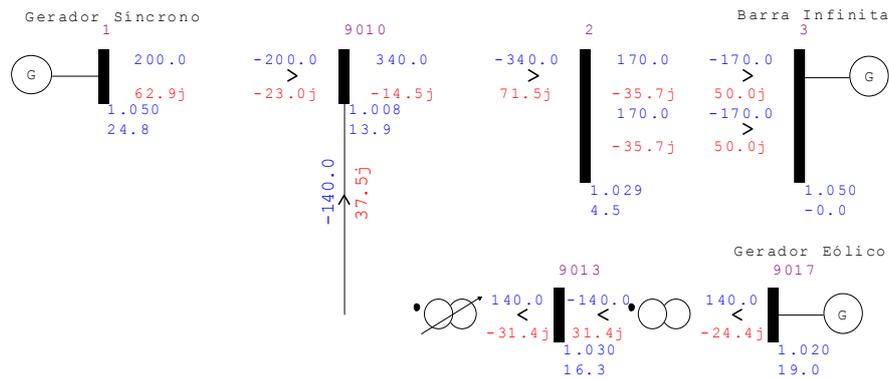


Figura 5–Rede elétrica equivalente para avaliação do desempenho dinâmico.

Os principais resultados para avaliação do comportamento dinâmico da rede elétrica equivalente, são apresentados na Figura 6, na qual é possível observar uma grande coincidência nos modos de oscilação eletromecânica e no perfil de tensão. Pode-se observar ainda que para afundamentos de tensão compatíveis com o curto circuito monofásico, a injeção de potência ativa é praticamente constante, logo um modelo de potência ativa constante para este tipo de aerogerador, pode proporcionar resultados adequados sem a necessidade de um modelo muito complexo.

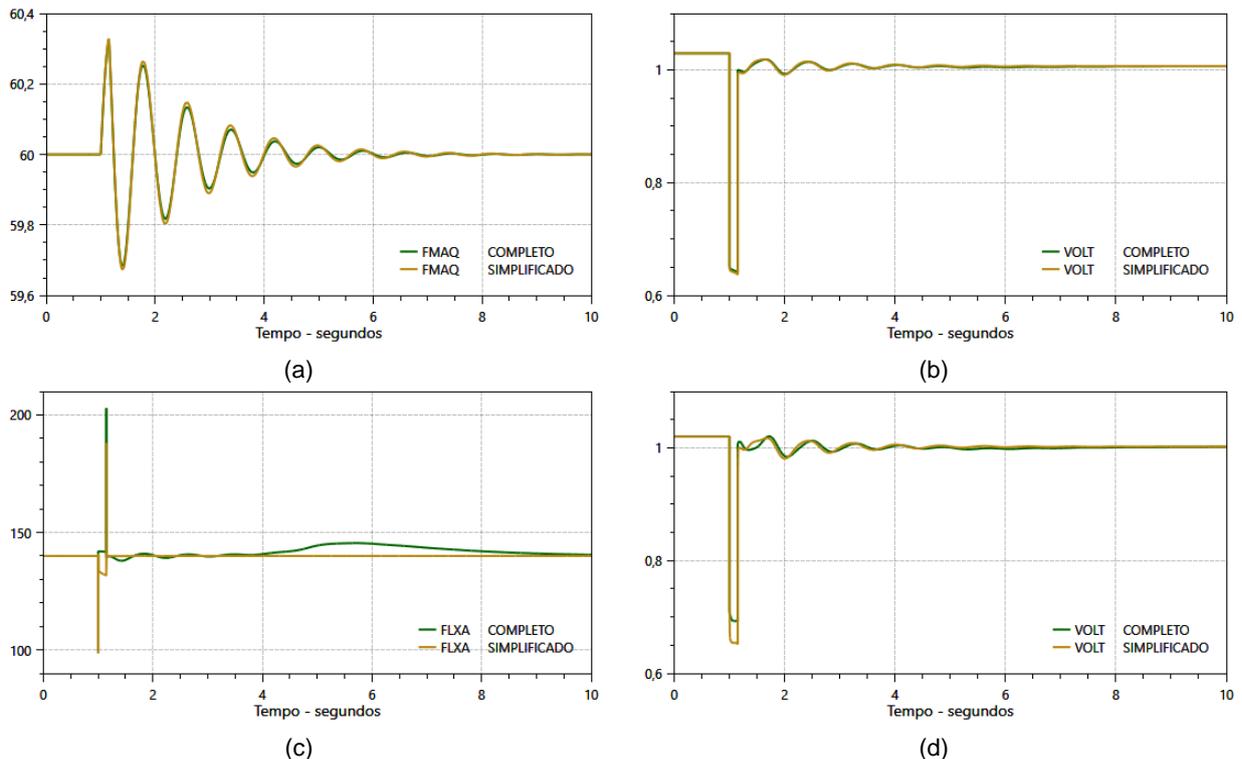


Figura 6–Curto circuito na barra 2. (a) Freqüência da máquina, (b) Tensão no ponto de defeito, (c) Fluxo ativo do gerador eólico, (d) Tensão no terminal do gerador eólico.

3.0 - COMPORTAMENTO DINÂMICO DO SIN EM FUNÇÃO DOS MODELOS DE USINAS EÓLICAS

O aumento da geração eólica no SIN tem alterado o comportamento dinâmico do sistema elétrico, mesmo em áreas distantes das principais regiões geradoras. Neste cenário é importante a representação adequada da geração eólica em programas de estabilidade. Esta seção aborda a influência do modelo de geração eólica no comportamento dinâmico do SIN. Para tanto foram simulados eventos tanto eletricamente próximos como também distantes dos grandes parques de geração eólica, considerando diferentes modelos para representação dos aerogeradores. O intuito foi provocar diferentes afundamentos de tensão nas barras terminais dos aerogeradores. As simulações foram realizadas na região Nordeste do SIN por se tratar da região com maior concentração de

parques eólicos. Além disso, foi comparado o esforço computacional envolvido nestas simulações em função do modelo de geração utilizado.

3.1 Influência da Representação Detalhada no Comportamento Dinâmico

O comportamento dinâmico dos modelos adotados na representação dos parques eólicos foi analisado pela comparação entre o modelo detalhado, ou seja, pelo modelo presente no banco de dados distribuído pelo ONS em outubro de 2016, e os modelos ZIP obtidos no novo código DGER do Anatem. Nesta comparação foi utilizado o caso de estabilidade do PAR 2020 do ONS com as seguintes representações:

- Modelo detalhado das usinas eólicas (curva verde)
- Impedância constante (curva amarela)
- Corrente constante (curva vermelha)
- Potência constante (curva azul)

3.1.1 Defeito eletricamente distante aos parques da região Nordeste

Nesta etapa foi realizada a simulação da abertura do circuito Foz do Iguaçu – Ivaiporã 765 kV e comparou-se o comportamento dinâmico do fluxo da interligação Norte Sul nas diferentes representações.

A Figura 7 apresenta os resultados do comportamento dinâmico do SIN. Para avaliação do comportamento da tensão próximo das centrais eólicas do Nordeste foi utilizado o barramento de 230 kV da SE Ourolândia no estado da Bahia. Foi escolhido um gerador de indução com dupla alimentação para a apresentação das curvas de fluxo de potência ativa e reativa

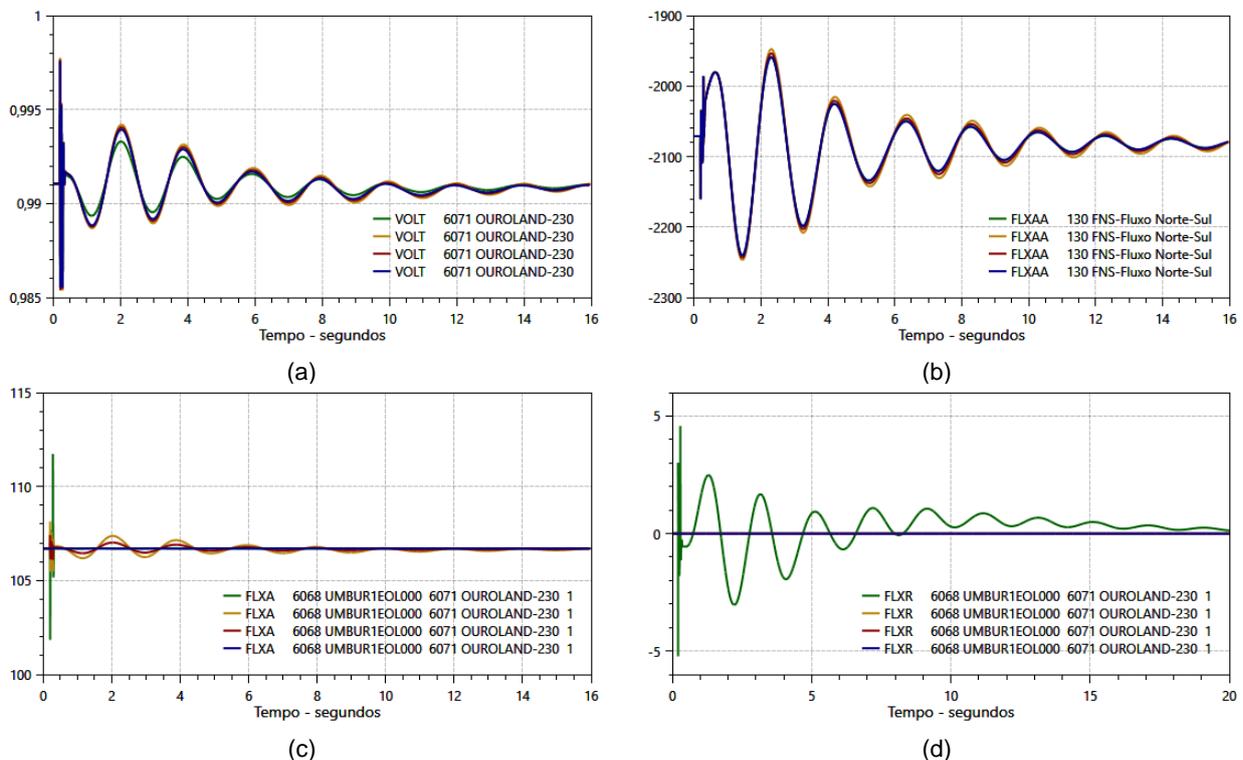


Figura 7 - Defeito distante das eólicas do Nordeste. (a) Tensão na SE 230kVOurolândia, (b) Fluxo ativo na Interligação Norte-Sul, (c) Fluxo ativo da CGE, (d) Fluxo reativo da CGE.

A variação de tensão na região Nordeste, particularmente na região das gerações eólicas é bastante reduzida devido à distância elétrica do defeito considerado. O modelo de impedância constante, que é o modelo padrão do Anatem quando nenhum outro modelo de geração é fornecido, resulta em oscilações no Fluxo da Interligação Norte-Sul com amortecimento inferior ao observado quando o modelo detalhado da geração eólica é utilizado. No entanto, o uso de um modelo de potência constante proporciona um amortecimento semelhante ao uso do modelo completo. No que se refere à potência ativa injetada na rede pelos aerogeradores, podemos observar que o modelo de potência constante proporciona o mesmo comportamento do modelo detalhado, nesta situação onde não ocorre significativa redução da tensão. A modelagem dos aerogeradores através de impedância constante e corrente constante resulta em pequenas oscilações de potência resultantes das oscilações de tensão. A variação de potência reativa gerada nestas situações é muito reduzida e não pode ser representada adequadamente por um

modelo ZIP, pois na maioria das vezes a potência reativa gerada em regime é nula, o que resulta em uma parcela de potência, corrente ou impedância constante também nula.

3.1.2 Defeito eletricamente próximo aos parques eólicos da região Nordeste

Defeitos próximos as centrais eólicas podem provocar variações significativas na tensão terminal dos aerogeradores, o que implica em uma maior atenção ao modelo utilizado na representação destes equipamentos. Na verificação do comportamento dos geradores eólicos para defeitos próximos foi simulado um curto circuito monofásico no barramento de 500 kV da SE Ourolândia com abertura do circuito no. 1 da LT 500 kV Ourolândia - Morro do Chapéu, 100 ms após a aplicação do curto.

A Figura 8 apresenta o comportamento dinâmico do SIN. Os fluxos de potência ativa e reativa também correspondem a um gerador de indução com dupla alimentação.

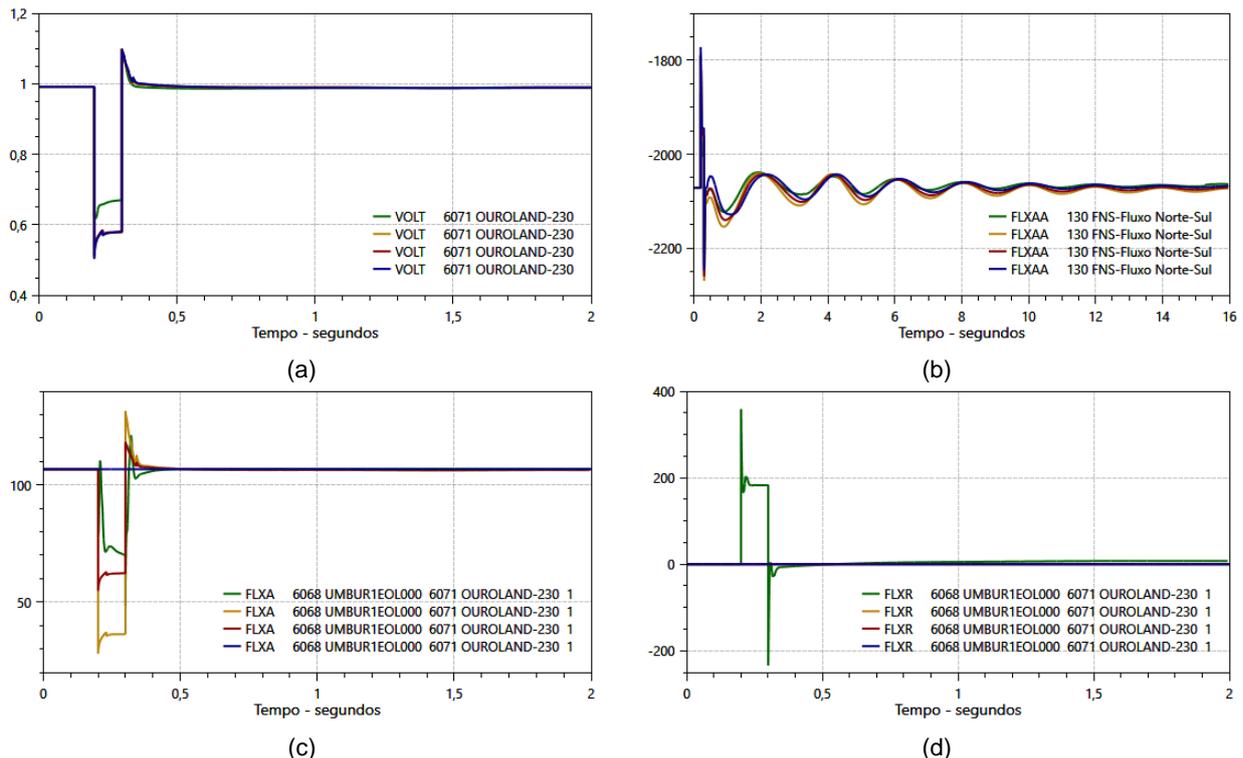


Figura 8 - Defeito próximo as eólicas do Nordeste. (a) Tensão na barra de defeito, (b) Fluxo ativo na Interligação Norte-Sul, (c) Fluxo ativo da CGE, (d) Fluxo reativo da CGE.

O afundamento de tensão observado durante o curto é menor quando o modelo detalhado é utilizado, enquanto os modelos ZIP são mais conservativos, ou seja, resultam em afundamentos maiores durante o curto. Este menor afundamento da tensão é consequência da injeção de potência reativa durante o período do curto, como mostrado na Figura 8d. As sobretensões resultantes da retirada do defeito são equivalentes em todos os modelos.

O amortecimento das oscilações eletromecânicas na Interligação Norte - Sul é um pouco afetado pela representação das usinas eólicas neste evento.

A potência ativa fornecida pelo parque eólico no modelo de impedância constante apresenta uma redução significativa provocada pela diminuição da tensão. Dado que no modelo detalhado existe uma redução de potência ativa durante o defeito, o modelo de corrente constante é mais adequado que o de potência constante sob este aspecto. No modelo detalhado existe um aumento da potência reativa durante o defeito que não pode ser adequadamente representado com a modelagem ZIP.

Nota-se que mesmo neste caso as diferenças no modo de oscilação eletromecânico, embora existam, não são tão significativas. A utilização de modelos dinâmicos simplificados para cada uma das plantas eólicas poderia reduzir ainda mais estas diferenças, sem prejuízo significativo em relação ao tempo computacional da simulação.

3.2 Influência da Representação Detalhada no Desempenho Computacional

A Tabela 1 apresenta a comparação dos tempos de simulação dos casos analisados. Também são apresentadas as estatísticas com as médias de iterações por passo. Observa-se que o menor tempo de simulação corresponde à representação de corrente constante. Verifica-se também que o tempo utilizando os modelos detalhados é muito maior, quando comparado com os dos modelos estáticos.

	Modelos Detalhados de Eólicas	Impedância Constante	Corrente Constante	Potência Constante
Tempo de CPU	16:15.40	08:36.63	06:19.69	07:34.66
Soluções de rede CA por passo	7.77	7.80	7.79	7.79
Iterações modelos CA - rede CA	2.14	2.18	2.17	2.16
Iterações modelos CC - rede CC	6.66	6.94	6.88	6.83
Iterações CC - CA	1.14	1.19	1.17	1.17

3.3 Influência da Representação da Turbina no Comportamento Dinâmico

Nos geradores eólicos a representação da turbina não causa impacto na dinâmica do sistema elétrico para defeitos e perturbações na rede elétrica porque neste tipo de modelo o torque mecânico e a velocidade do rotor podem ser considerados constantes, conforme observado nos gráficos da Figura 9.

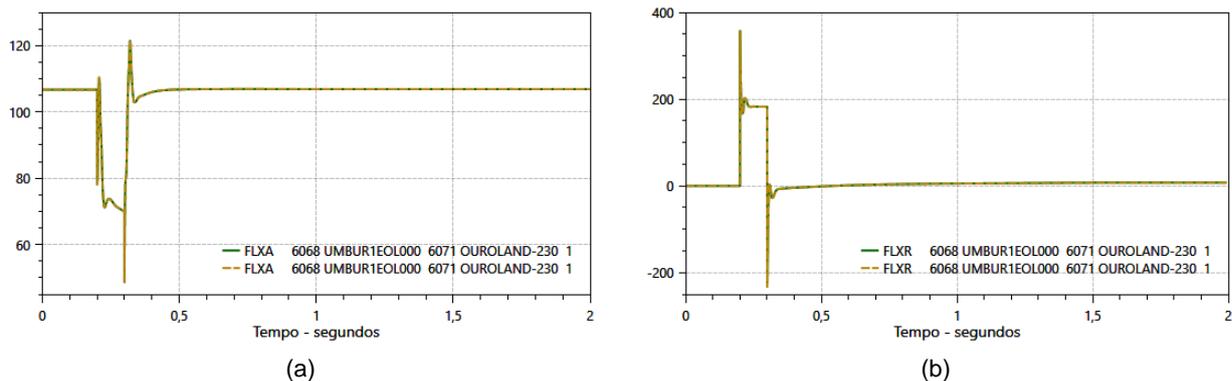


Figura 9 - Influência da representação da turbina: Modelos com (verde) e sem (amarelo) a dinâmica da turbina (a) Fluxo de potência ativa da CGE, (b) Fluxo de potência reativa da CGE.

4.0 - CONCLUSÃO

Neste artigo foram abordadas algumas questões no que se refere a representação de geradores eólicos em programas de estabilidade eletromecânica. Inicialmente foram apresentadas as possibilidades de representação dos aerogeradores no Anatem. Em seguida mostrou-se que é possível a utilização de modelagem simplificada, tomando-se como exemplo o gerador síncrono conectado ao sistema por conversores de tensão, que é bastante complexo e ineficiente computacionalmente por envolver uma grande quantidade de blocos CDU. Os resultados apresentados mostram que o comportamento das grandezas de interesse que seriam a potência elétrica e velocidade praticamente não sofrem influência significativa.

Também foi analisado o comportamento dinâmico destes modelos em simulações do SIN, considerando defeitos próximos e distantes eletricamente da região dos parques eólicos. Nestas análises, além dos modelos detalhados do banco de dados do ONS, também foi utilizado uma funcionalidade do programa Anatem que permite que gerações, para as quais não foram fornecidas modelos de gerador, sejam representadas por parcelas de potência, corrente e impedância constante. Verificou-se que a oscilação eletromecânica inter-área principal do sistema é muito bem representada pelo modelo de potência constante e que neste caso as simulações levam aproximadamente metade do tempo, quando comparadas com a utilização da modelagem detalhada de todos os parques do SIN.

Como conclusão final do artigo, acredita-se que a representação de todos os parques eólicos do Brasil de forma detalhada envolvendo centenas de blocos CDU por parque, como tem sido praticada atualmente, muitas vezes utilizada para representar parques da ordem de algumas dezenas de MW é exagerada e desnecessária, sendo até

preocupamente se considerarmos a grande quantidade de novos aproveitamentos que estão sendo estudados, planejados e licitados. Acredita-se que a utilização de modelos detalhados deve ser realizada de forma criteriosa, envolvendo apenas os parques muito próximos da região de interesse e os parques mais distantes podem certamente ser representados de forma simplificada e alguns até mesmo de forma estática. Este tipo de preocupação certamente auxiliará na robustez das simulação e eficiência computacional do Anatem em estudos futuros.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Cepel, "Manual do usuário do programa Anatem versão 11.01.00", Rio de Janeiro, 2016.

[2]Rangel, R. D., Ferraz, J. C. R., Gomes Jr., S., Henriques, R. M. "Modelagem de Geração Eólica em Programas de Fluxo de Potência e de Análise de Estabilidade Eletromecânica.XVII SNPTEE. Outubro/ 2005. Curitiba-PR

[3]Rangel, R. D. , Gomes Jr., S., Ferraz, J. C. R. "Modelagem de Aerogeradores Baseados em Máquinas Síncronas de Velocidade Variável em Programas de Análise de Estabilidade Eletromecânica. X SEPOPE. Maio/2006 Florianópolis-SC.

[4] ONS, "Casos de Referência - Estabilidade - Transitórios Eletromecânicos," Outubro 2016. Disponível em http://www.ons.org.br/avaliacao_condicao/casos_eletromecanicos.aspx.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



FABRICIO LUCAS LIRIO possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), respectivamente em 1998 e 2000. Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) em 2007. Desde 2000 trabalha no Cepel, onde atua no Departamento de Redes Elétricas (DRE). Trabalha no desenvolvimento do Programa Anatem desde 2013, atual responsável pelo projeto Anatem, participou dos estudos da alternativa CCAT para o Aproveitamento das usinas do rio Madeira e Belo Monte e auxiliou no desenvolvimento do Programa PacDyn. Seus campos de interesse são: Transmissão CCAT, Equipamentos FACTS, Controle aplicado a Sistemas de Potência, bem como Estudos de Transitórios Eletromagnéticos, Eletromecânicos e Harmônicos. É membro do Comitê de Estudos B4 do Cigré-Brasil.



SERGIO GOMES JUNIOR graduou-se em Engenharia Elétrica em 1992 pela Universidade Federal Fluminense, concluiu Mestrado e Doutorado também em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1995 e 2002, em 2004 fez um pós-doutorado na Northeastern University em Boston, Estados Unidos e em 2016 um pós-doutorado na Norwegian University of Science and Technology em Trondheim, Noruega. Desde 1994 é pesquisador do Cepel trabalhando na pesquisa e desenvolvimento de programas computacionais para a análise de sistemas de potência e desde 2000 é gerente do projeto PacDyn no Cepel. Desde 2010 também é professor da Universidade Federal Fluminense. Suas principais áreas de interesse são: dinâmica e controle de sistemas de potência, eletrônica de potência, harmônicos e transitórios eletromagnéticos. É Senior Member do IEEE e membro do Comitê de Estudos B4 do Cigré-Brasil.



LEONARDO PINTO DE ALMEIDA graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFRJ em 2000, obteve o título de Mestre na área de Sistemas de Potência na COPPE/UFRJ. Desde 2002 é pesquisador no Departamento de Redes Elétricas do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, onde desempenha atividades relacionadas ao planejamento e operação de sistemas de transmissão de energia. É membro do Comitê de Estudos B4 (CCAT e Eletrônica de Potência) do Cigré-Brasil. Suas principais áreas de interesse são: Transmissão CCAT, Equipamentos FACTS, Controle aplicado à Sistemas de Potência e Estudos de Transitórios Eletromagnéticos e Eletromecânicos.



LÍGIA ROLIM DA SILVA possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (2015). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência. Atualmente cursa Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e é pesquisadora do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), atuando no desenvolvimento do programa Anatem. Seus principais campos de interesse são relacionados à Dinâmica de Sistemas de Potência e Estabilidade Eletromecânica.



NÍCOLAS ABREU ROCHA LEITE NETTO Possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), respectivamente em 2014 e 2016. Atualmente é Profissional Pesquisador I do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, onde integra a equipe de e desenvolvimento do Programa Anatem desde 2014. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: Computação Científica, Dinâmica, Controle e Estabilidade de Sistemas Elétricos.