

Transição Energética em Sistemas Isolados (TE Sisol)

Relatório de Softwares de Simulação -
Produto 12



Como empresa federal de utilidade pública, a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH apoia o Governo Federal da Alemanha em seus objetivos na área de cooperação internacional.

Publicado por

Projeto Sistemas de Energia do Futuro

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Sede social Bonn e Eschborn, Alemanha SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1501, 15 andar, Ed. Brasília Trade Center. CEP 70711-902, Brasília-DF, Brasil Telefone: (61) 2101-2170 www.giz.de/brasil	Ministério de Minas e Energia Esplanada dos Ministérios, Bloco U Brasília/DF CEP: 70065-900 Telefone: (61) 2032-5555 www.gov.br/mme
--	--

Coordenação:

Gustavo Pires da Ponte – EPE

Roberto Castro – GIZ

Leticia Maciel – GIZ

Autores:

Daniel Odilio dos Santos – Consultor Técnico / IESS/IDEAL/ FV UFSC

Marília Braga – Consultora Técnica / IESS/IDEAL/ FV UFSC

Nálisson de Bona – Consultora Técnica / IESS/IDEAL/ FV UFSC

Revisão:

Ricardo Ruther – IESS/IDEAL/FUV UFSC

Lucas Nascimento – IESS/IDEAL/FUV UFSC

Comitê Técnico – Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Gustavo Pires da Ponte

Guilherme Mazolli Fialho

Aline Couto de Amorim

Michele Almeida de Souza

Paula Monteiro Pereira

Fotografias

Antônio Pereira – Semcom Manaus

O projeto Sistemas de Energia do Futuro integra a Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável e é implementado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH e pelo Ministério de Minas e Energia com recursos do Ministério Federal da Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha.

Brasília, março de 2023.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	- 4 -
2. APLICAÇÕES PARA AVALIAÇÃO ELÉTRICA E ENERGÉTICA DE REDES ISOLADAS	- 6 -
2.1. Análise Elétrica	- 6 -
2.1.1 SOFTWARES AVALIADOS	- 6 -
2.1.2 COMPARAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES E LIMITAÇÕES	- 7 -
2.1.3 AVALIAÇÃO CRÍTICA DOS SOFTWARES	- 8 -
2.2. Análise Energética	- 20 -
2.2.1 SOFTWARES AVALIADOS	- 20 -
2.2.2 COMPARAÇÃO DE FUNCIONALIDADES E LIMITAÇÕES	- 21 -
2.2.3 AVALIAÇÃO CRÍTICA DOS SOFTWARES	- 23 -
3. COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES	- 29 -

1. INTRODUÇÃO

Os softwares CAE (Computer Aided Engineering) são amplamente utilizados para auxiliar na modelagem, simulação e análise de sistemas elétricos. Esses programas permitem os profissionais envolvidos na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica a visualizar e avaliar virtualmente o desempenho de sistemas complexos antes da construção física. Além disso, os softwares CAE também ajudam a identificar pontos críticos e possíveis falhas no sistema, o que permite aos projetistas tomar medidas para corrigi-los antes da construção. Esses programas são, portanto, uma ferramenta valiosa para a garantia da eficiência, segurança e confiabilidade dos sistemas.

O crescente desenvolvimento tecnológico relacionado ao desenvolvimento de softwares avaliando a viabilidade de novos perfis de estudos energéticos, implica na criação de diversos softwares para implementar e corrigir os problemas específicos das simulações de redes elétricas.

Análises elétricas em transitório e análises energéticas são dois tipos diferentes de análises que podem ser realizadas em sistemas elétricos. Análises elétricas em transitório são usadas para estudar o comportamento de sistemas elétricos durante eventos transitórios, como curtos-circuitos, perda de carga, perda de transmissão, entre outros. Essas análises podem ser realizadas usando softwares de simulação e fornecem informações sobre o desempenho do sistema durante esses eventos. Elas são úteis para avaliar a estabilidade do sistema e identificar possíveis problemas que possam afetar sua operação.

Por outro lado, análises energéticas são usadas para estudar o consumo de energia em sistemas elétricos. Elas podem ser usadas para avaliar a eficiência energética de um sistema e identificar oportunidades para reduzir o consumo de energia. Essas análises podem incluir a avaliação do consumo de energia por equipamento ou setor, a identificação de perdas de energia e a implementação de medidas para melhorar a eficiência energética.

Assim, hoje no mercado existem diversos softwares disponíveis para a avaliação técnica e/ou econômica de sistemas híbridos. Dentre eles se destacam: Homer®, iHoga®, Hybrid2®, RETScreen®, iGRHYSO®, HYBRIDS®, RAPSIM®, HySim®, IPSYS®, HySys®, Dymola/Modelica®, ARES®, EnergyPLAN SOLSIM®, HYBRID DESIGNER®.

Para as avaliações elétricas de instabilidade em regime permanente e transitório se destacam: ANATEM®, ATP®, PS SIMUL®, EMTP-RV®, ETAP®, PowerWorld Simulator®, DIgSILENT PowerFactory®, GE PSLF®.

Cada software possui potencialidades e limitações. As principais diferenças são:

- Representação comercial
- Suporte técnico
- Disponibilidade de fontes de energia
- Resolução temporal
- Capacidade máxima dos componentes do sistema
- Integração com avaliação econômica
- Amigabilidade (*user-friendly*).

Este produto visa apresentar os principais softwares CAE para análises de redes isoladas, apresentando as diferenças e as potencialidades de cada ferramenta.

1. APLICAÇÕES PARA AVALIAÇÃO ELÉTRICA E ENERGÉTICA DE REDES ISOLADAS

1.1. ANÁLISE ELÉTRICA

1.1.1 SOFTWARES AVALIADOS

1.1.1.1 ANATEM®

O ANATEM é um aplicativo para simulações dinâmicas no domínio do tempo, visando a análise não linear de transitórios eletromecânicos de sistemas de potência de grande porte, compreendendo os períodos de estabilidade transitória e dinâmica. O programa destaca-se por sua robustez, confiabilidade e pelo desenvolvimento de modelos adequados a particularidades do sistema elétrico brasileiro.

1.1.1.2 ATP®

O ATP (Alternative Transient Program) é um software dedicado para avaliação de fenômenos transitórios de natureza eletromagnética e eletromecânica, possuindo uma série de aplicações e vantagens. Ele permite modelar adequadamente os sistemas elétricos, reproduzindo de forma mais fiel possível a configuração elétrica real das redes de transmissão e/ou distribuição, além de equipamentos da rede e seus controladores.

1.1.1.3 PS SIMUL®

O PS SIMUL é um software voltado para simulações de transitórios eletromagnéticos, eletromecânicos e sistemas de controle. Ele é desenvolvido pela Conprove e permite a realização de estudos em sistemas elétricos, reproduzindo o mais fiel possível a configuração elétrica real das redes.

1.1.1.4 EMTP-RV®

O EMTP-RV é um software completo e tecnicamente avançado para simulação e análise de fenômenos transitórios dos sistemas elétricos. Ele é um programa sofisticado para simulação de transitórios eletromagnéticos, eletromecânicos e de sistemas controle em sistemas elétricos multifásicos.

1.1.1.5 PowerWorld Simulator®

PowerWorld Simulator é um software interativo para simulação de fluxo de potência em sistemas elétricos. Ele oferece uma ampla gama de recursos para análise estática e dinâmica do sistema.

1.1.1.6 DlgSILENT PowerFactory®

O DlgSILENT PowerFactory é um software líder em análise de sistemas de energia elétrica para uso na análise de geração, transmissão, distribuição e sistemas industriais. Ele cobre toda a gama de funcionalidades, desde recursos padrão até aplicações altamente sofisticadas e avançadas.

1.1.1.7 GE PSLF®

O GE PSLF (Positive Sequence Load Flow) é um software de simulação de fluxo de carga e dinâmica usado por planejadores de transmissão em todo o mundo. Ele foi recentemente atualizado para fornecer aos usuários uma interface aprimorada e mais eficiente para modelagem de sistemas de energia elétrica.

1.1.2 COMPARAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES E LIMITAÇÕES

Tendo em vista a gama de funcionalidades de cada software avaliado, as **TABELAS 1 e 2** destacam as informações gerais e principais recursos e limitações dessas ferramentas.

TABELA 1 – INFORMAÇÕES GERAIS DOS SOFTWARES.

Software	Versão teste	Desenvolvido por	Última versão	Plataforma	Disponível em
ANATEM®	-	Eletrobras CEPEL	12.4	Windows	LINK
ATP®	X	ATPDesigner	-	Windows	LINK
PS SIMUL®	X	CONPROVE	-	Windows	LINK
EMTP-RV®	-	EMTP	-	Windows	LINK
PowerWorld Simulator®	X	PowerWorld Corporation	23	Windows	LINK
DlgSILENT PowerFactory	-	DlgSILENT	2023	Windows	LINK

TABELA 2 – DISPONIBILIDADE DE OPÇÕES DE ANÁLISE E SISTEMAS DE CADA SOFTWARE.

Software	Análise Econômica	Análise Técnica	Fotovoltaico	Eólico	Gerador Diesel	SAE	Hidrelétrica
ANATEM		X	X	X	X	X	X
ATP		X	X	X	X	X	X
PS SIMUL		X	X	X	X	X	X
EMTP-RV		X	X	X	X	X	X
PowerWorld Simulator		X	X	X	X	X	X
DigSILENT PowerFactory	X	X	X	X	X	X	X

Na análise observa-se que o investimento necessário para a aquisição de licenças apresenta uma notável flutuação. Esta variação geralmente se estende desde alguns milhares até dezenas de milhares de reais. Fatores preponderantes que influenciam tal flutuação de valores incluem, primordialmente, o número de usuários previstos para a utilização do software e a abrangência da licença adquirida. Ademais, é pertinente ressaltar a ausência de informações específicas sobre os custos dessas licenças nos portais oficiais.

1.1.3 AVALIAÇÃO CRÍTICA DOS SOFTWARES

1.1.3.1 ANATEM®

O aplicativo Anatem se configura como uma ferramenta para a simulação dinâmica temporal, focado na avaliação não-linear de transitórios eletromecânicos em sistemas de potência de ampla escala. O programa abrange períodos de estabilidade transitória e dinâmica.

Diante de distúrbios de grande magnitude, frequentemente resultantes de alterações abruptas na infraestrutura elétrica, o sistema se desloca do ponto de operação inicial e tende a alcançar outro ponto de operação estável ou pode exibir oscilações não amortecidas. Sob tais condições, os geradores síncronos sofrem oscilações de grande magnitude, de modo que certas unidades ou grupos de unidades podem perder sincronia uns com os outros, ou com o sistema na totalidade.

O Anatem é notável por sua robustez, confiabilidade e pela concepção de modelos adequados às particularidades do sistema elétrico brasileiro. Além disso, o programa possibilita a interação com os aplicativos Anarede (voltado à Análise de Redes Elétricas), Plot (ferramenta para a visualização de resultados na forma de gráficos) e CDUEdit (ferramenta gráfica para desenho de CDUs).

O programa oferece ao usuário a possibilidade de descrever equipamentos com grande precisão e flexibilidade na modelagem, destacando-se os Controles Definidos pelo Usuário (CDUs), que possibilitam a modelagem das características dinâmicas dos principais controladores atuantes em sistemas de potência. Através do CDU, é possível modelar:

- Reguladores de velocidade;
- Reguladores de tensão;
- Estabilizadores de sistemas de potência;
- Controladores de geradores eólicos e fotovoltaicos;
- Compensadores estáticos;
- Proteções sistêmicas como Sistemas Especiais de Proteção (SEP);
- Proteções locais como os sistemas de proteção das unidades geradoras;
- Controles dos elos de Corrente Contínua em Alta Tensão (CCAT);
- Entre outros equipamentos.

Os usuários principais do Anatem abrangem entidades setoriais como o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Ministério de Minas e Energia (MME), as empresas do grupo Eletrobras, os agentes de geração, transmissão e distribuição, os grandes consumidores industriais, os produtores independentes, as universidades (através de versões acadêmicas) e as consultoras independentes. Os arquivos de dados da rede para uso no Anatem podem ser adquiridos online, por meio de downloads disponíveis em sites de algumas instituições setoriais, além de arquivos de exemplo contidos no próprio pacote de instalação do programa.

FIGURA 1 - TELA INICIAL DO PROGRAMA

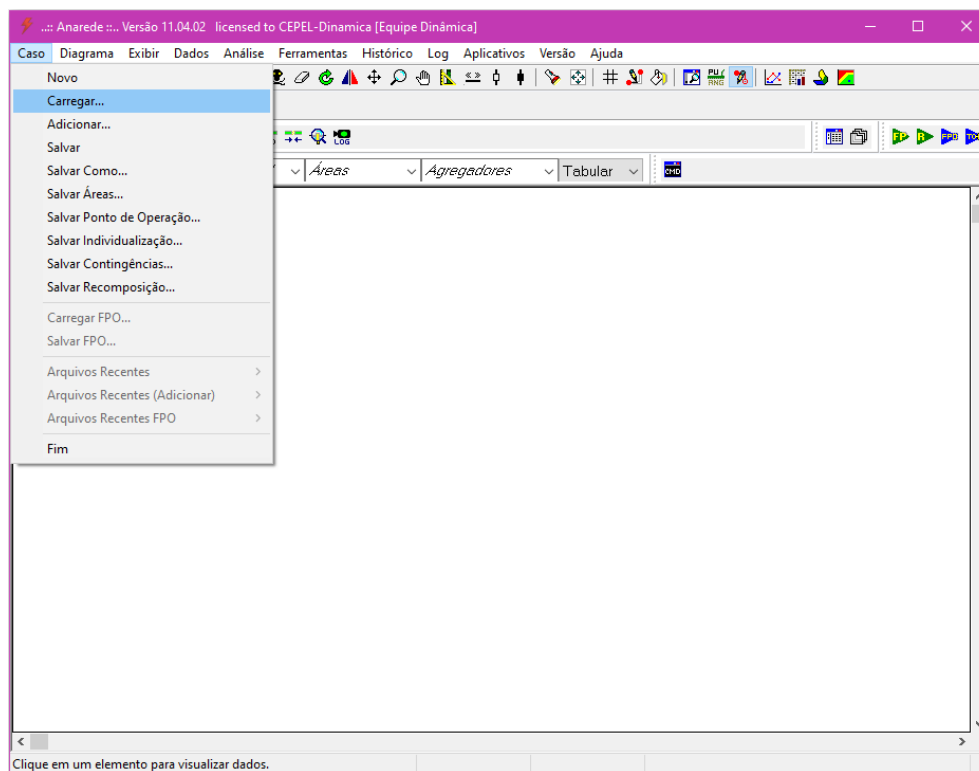
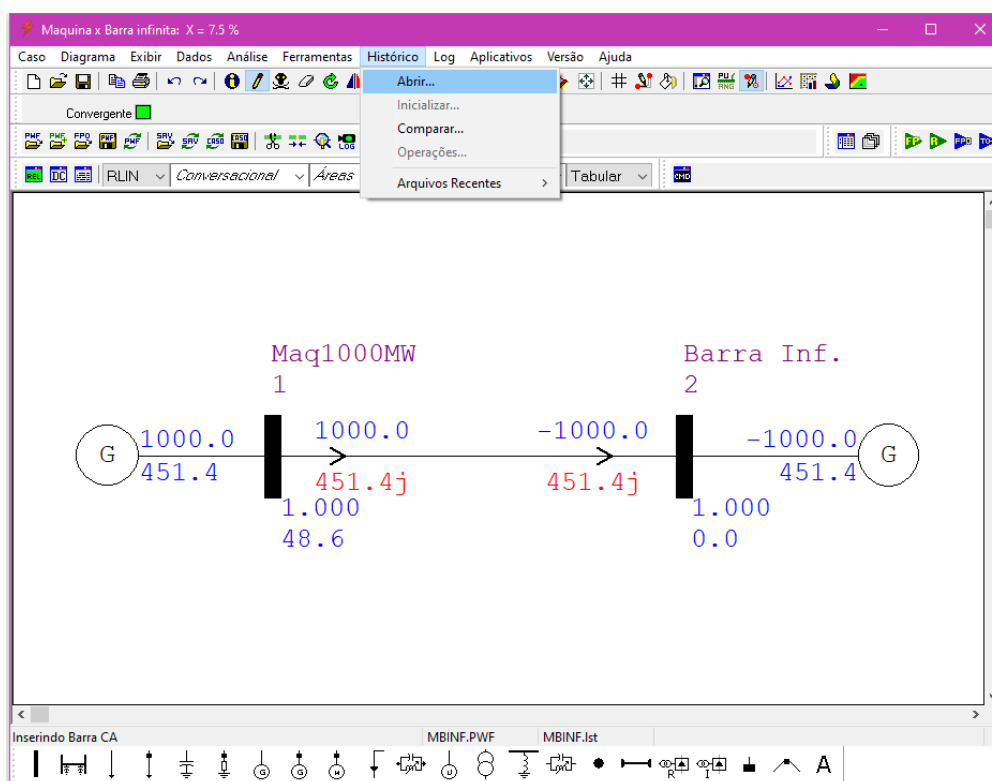


FIGURA 2 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO COM LOAD FLOW



1.1.3.2 ATP®

O ATPDesigner incorpora um algoritmo para calcular o estado estacionário de uma rede elétrica de potência. Esse algoritmo, denominado Análise de Curto-Circuito ou Análise de Fluxo de Carga, ou Cálculo de Fluxo de Carga, realiza cálculos de tensões, correntes, potências etc., considerando as plantas de energia renovável, por exemplo, usinas eólicas ou fotovoltaicas. O ATPDesigner utiliza fontes de corrente controladas para simular o comportamento de usinas eólicas ou sistemas de energia fotovoltaica, que usam um conversor CC/AC para alimentar a energia elétrica na rede de potência. Estas fontes de corrente são controladas pelo próprio ATPDesigner.

O ATPDesigner determina os fasores das tensões de fase para aterramento no nó de alimentação do conversor, analisando o arquivo.LST do ATP e calcula a magnitude e a defasagem da fonte de corrente para alcançar a potência ativa e reativa definida pelo usuário. Exemplo: Resultados do Estado Estacionário no arquivo.LST do ATP.

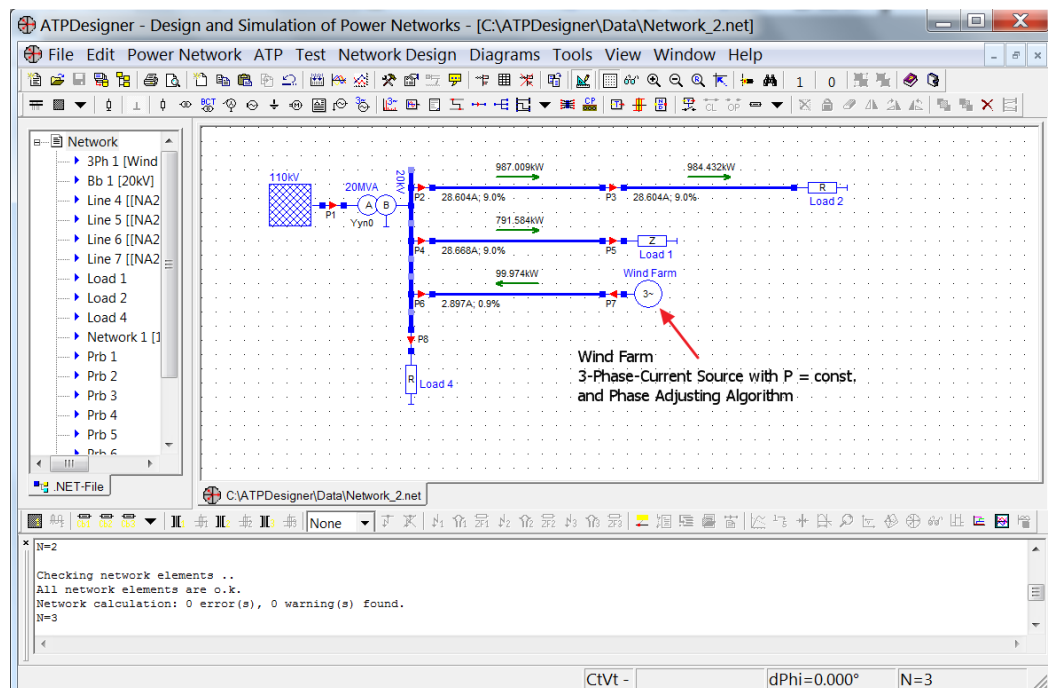
O ATPDesigner possibilita ao usuário ajustar a defasagem entre as correntes de fase de uma corrente trifásica IABC e as tensões de fase para aterramento correspondentes VABCG ou tensões de fase para fase VAB, VBC, VCA medidas no Ponto de Conexão à Rede (PCR) da fonte trifásica. Para isso, o Algoritmo de Ajuste de Fase ajusta o fator de deslocamento no PCR. O ATPDesigner inicia o Algoritmo de Ajuste de Fase e modifica automaticamente a defasagem. O Algoritmo de Ajuste de Fase será interrompido quando a precisão especificada $d\Phi$ ou um número máximo de passos de iteração, ou a potência aparente S_{nom} for atingida. Não apenas a defasagem mencionada acima será ajustada, mas também a potência ativa no Ponto de Conexão à Rede (PCR).

O algoritmo ATPDesigner também regula o fator de deslocamento, assim como a potência ativa no PCR, por meio de um algoritmo de iteração, tal como conhecido dos algoritmos de cálculo de fluxo de carga.

O ATPDesigner também fornece o método clássico para o Cálculo de Fluxo de Carga, chamado Ajuste de Carga no ATPDesigner. Este algoritmo também suporta os nós PQ, bem como os nós PV e o Slack.

Combinando os algoritmos de Ajuste de Carga e Ajuste de Fase, o ATPDesigner também suporta um método inovador para calcular o Fluxo de Carga em Redes Elétricas de Potência com Plantas de Energia Renovável, por exemplo, usinas eólicas.

FIGURA 3 – EXEMPLO DO ATPDESIGNER



1.1.3.3 PS SIMUL[®]

O Power System Simulator (PS SIMUL) é um software especializado em simulações de transitórios eletromagnéticos, eletromecânicos e de sistemas de controle.

O PS SIMUL, com uma interface intuitiva, uma ampla gama de blocos desenvolvidos e a precisão exigida pelos sistemas de potência/controle, proporciona a melhor experiência para o usuário em estudos de sistemas elétricos.

O PS SIMUL dispõe de várias formas de suporte, incluindo uma extensa biblioteca de exemplos de aplicação, um manual completo com a descrição e parametrização de todos os blocos, bem como assistência direta com especialistas.

A interface gráfica intuitiva do software possibilita ao usuário uma curva de aprendizado mais acelerada, resultando em melhor produtividade, economia de tempo e redução de custos. Para aumentar ainda mais essa facilidade, o PS SIMUL permite variações do sistema sem que sejam necessárias alterações no circuito, por meio de um painel de controle totalmente customizável pelo usuário.

Entre os diversos recursos do software, destacam-se: resolução de equações diferenciais por meio do método híbrido (Trapezoidal + Interpolação + Euler), que evita a ocorrência de oscilações numéricas frente a chaveamentos; a possibilidade de declaração de variáveis globais (constantes) que permitem ajustes comuns a vários blocos em um único ponto; a

execução de múltiplos testes automatizados, alterando uma ou mais constantes do sistema; a aplicação de falhas sem a necessidade de dividir manualmente a linha de transmissão; a realização de curto-circuito entre espiras do transformador através do acesso aos seus enrolamentos; medições internas de várias grandezas dos blocos de potência; a avaliação automática de resultados por lógicas parametrizadas pelo usuário; a proteção de arquivos com senha; a entrada de dados facilitada; a criação de relatórios completos; entre outros.

A extensa biblioteca do PS Simul inclui mais de 400 componentes, como linhas e cabos (com parâmetros concentrados ou distribuídos), transformadores de potência, transformadores de instrumentos (com modelagem da curva de saturação), disjuntores e chaves (com tempo de abertura e fechamento e controle de corrente de abertura), máquinas (síncronas, assíncronas e CCs), lógica e controle, eletrônica de potência (IGBT, Mosfet, Tiristor, Triac), e muito mais!

O usuário poderá analisar a saída de sua simulação de diversas maneiras: formas de onda (incluindo componente simétrica, potências e impedâncias), fasores, trajetória de impedância, gráfico de barras para decomposição harmônica. Todos os gráficos de formas de onda permitem a exportação nos formatos COMTRADE e CSV.

O PS Simul também disponibiliza o módulo de estatística, capaz de realizar a análise de um conjunto de dados permitindo a visualização dos resultados obtidos, através de gráficos dos tipos: XY, barras ou pizza. Com esse módulo é possível, por exemplo, obter gráficos exigidos pela norma IEC-60255 demonstrando os tempos mínimos, médios e máximos de operação de um IED em função da localização da falha e da relação da impedância da fonte pela da linha (SIR).

De forma exclusiva, o aplicativo interage com os Hardwares Conprove da Família CE-70XX, possibilitando a geração das formas de onda simuladas no mesmo ambiente, sem a necessidade de exportar e importar arquivos das formas de onda, podendo inclusive interagir com o dispositivo sob teste através do teste em malha fechada em etapas através de um processo iterativo.

FIGURA 4 – EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DO PS SIMUL

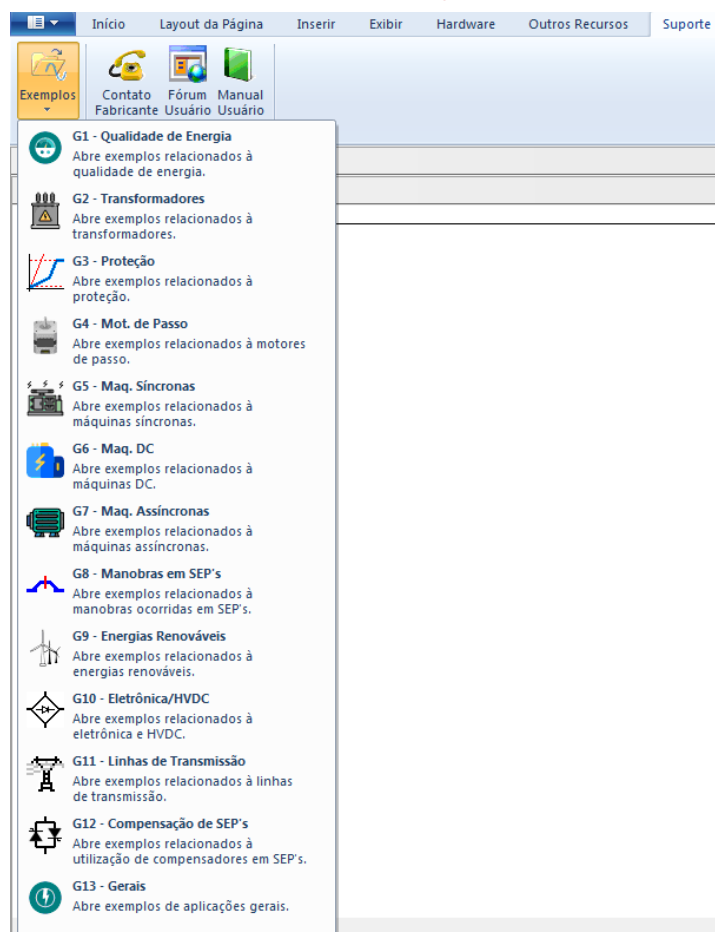


FIGURA 5 – RESULTADOS DO PS SIMUL



1.1.3.4 EMTP-RV®

O EMTP® soluciona os seguintes desafios:

- Devido à sua baixa/ausência de inércia, as frequências das microgrids podem variar durante distúrbios. Microgrids também apresentam comportamentos não-lineares devido aos controles dos dispositivos baseados em inversores. Portanto, para muitas aplicações de microgrids, é necessário um solucionador iterativo de domínio do tempo para se alcançar uma precisão aceitável.
- Estudos de estabilidade avaliam as interações entre diferentes controladores de geração distribuída (DG) e geradores síncronos.
- A qualidade da energia é um grande desafio devido à fragilidade das microgrids e à alta penetração de dispositivos baseados em inversores. A avaliação de queda/aumento de tensão e frequência, análise de conteúdo harmônico e cintilação devem ser realizadas tanto no modo ilhado quanto no modo conectado à rede.
- O fluxo de energia desequilibrado dentro da microgrid ilhada precisa ser analisado para alcançar o compartilhamento ótimo de energia no modo ilhado.
- A coordenação da proteção de uma microgrid precisa ser realizada à luz das características específicas das microgrids, como fluxos de energia bidirecionais e baixas correntes de falta disponíveis no modo ilhado.
- Para garantir uma operação segura quando uma microgrid se torna ilhada, é importante avaliar o desempenho de diferentes estratégias para detecção de ilhamento.
- O início em preto de uma microgrid refere-se à sua energização no modo ilhado, seguindo um blecaute, por exemplo. Dependendo da distribuição dos recursos de DG e suas capacidades de início em preto, estratégias devem ser simuladas para determinar a sequência adequada de operações.

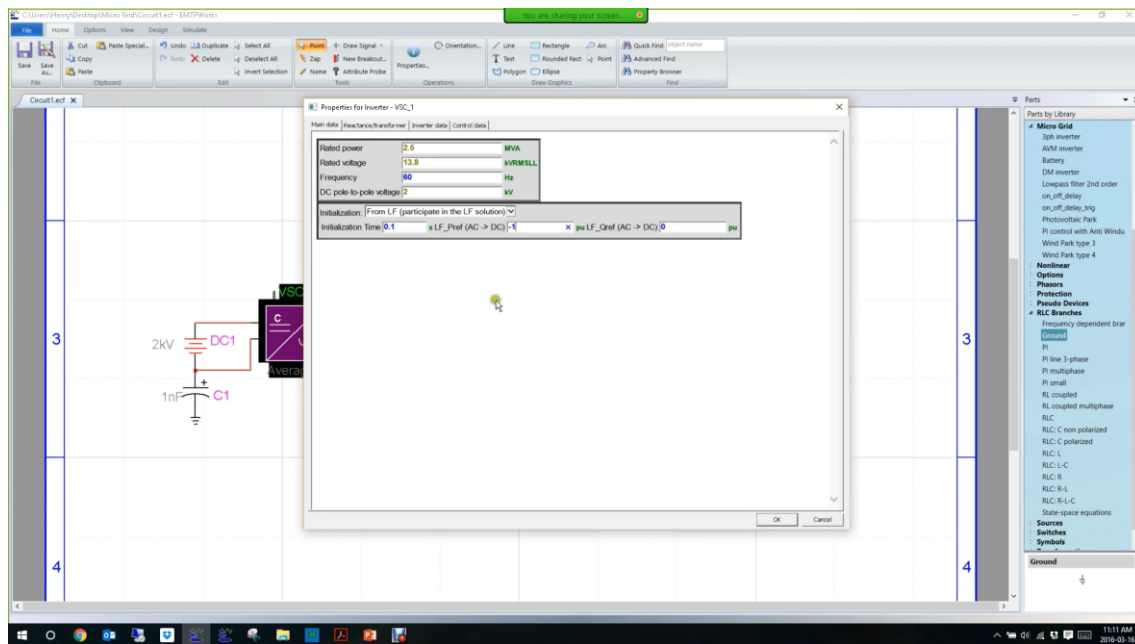
O EMTP® apresenta as seguintes funcionalidades para simulação de microgrid:

- Solucionador iterativo de domínio do tempo: mesmo sendo chamadas de microgrids, seus modelos são muito grandes, pois um número significativo de recursos distribuídos e cargas estão presentes e podem ter comportamentos não lineares. O solucionador de matriz esparsa iterativo avançado do EMTP® é

projetado especificamente para análise rápida e precisa de redes grandes e não lineares.

- Inicialização automática a partir dos resultados do fluxo de carga: devido ao possível grande número de DGs, a inicialização usando técnicas de aumento de potência é muito desafiadora para ser alcançada enquanto mantém a simulação numericamente estável. Essas técnicas também podem requerer um longo tempo de cálculo antes de atingir o estado estacionário. O EMTP® inicializa simulações de domínio do tempo a partir dos resultados de seu solucionador de fluxo de carga desequilibrado, alcançando um início perfeitamente plano que economiza muito tempo.
- O EMTP® fornece uma Caixa de Ferramentas de Análise de Microgrid especializada com componentes integrados que permitem montar um modelo de microgrid detalhado, incluindo inversores, baterias, PVs e turbinas eólicas, bem como filtros e blocos de controle para modelagem do sistema de controle.
- O EMTP® contém uma biblioteca de componentes versátil que agiliza a construção de modelos de inversores personalizados. Além disso, modelos de inversores de fabricantes de caixa preta podem ser construídos para atingir a máxima precisão.
- A biblioteca de controles do EMTP® permite que você crie modelos detalhados de sistemas de controle de microgrid, incluindo os esquemas de detecção de ilhamento, unidades de medida de fasor, sequência de inicialização do gerador e sincronização.
- A Caixa de Ferramentas de Proteção do EMTP® fornece modelos avançados de relés e fusíveis, bem como ferramentas para realizar a coordenação de proteção em estado estacionário ou no domínio do tempo.

FIGURA 6 – EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO PROGRAMA



1.1.3.5 PowerWorld Simulator®

PowerWorld Simulator é um software de simulação de sistemas elétricos que ajuda os usuários a projetar, operar e otimizar sistemas elétricos. Ele oferece uma ampla gama de recursos, incluindo:

- Modelagem de sistemas elétricos de alta tensão
- Simulação de eventos de falha
- Análise de fluxo de potência
- Otimização de custos
- Gerenciamento de ativos
- Treinamento

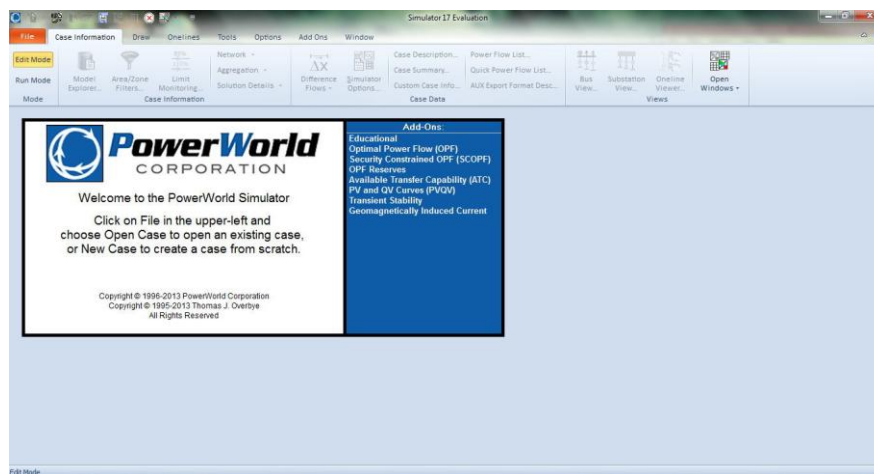
PowerWorld Simulator é usado por uma ampla gama de empresas, incluindo:

- Geradores de energia
- Transportadores de energia
- Distribuidores de energia
- Reguladores de energia
- Universidades
- Empresas de consultoria

PowerWorld Simulator é um software que pode ajudar os usuários a melhorarem a confiabilidade, eficiência e custo-benefício dos sistemas elétricos. Aqui estão algumas das principais vantagens do PowerWorld Simulator:

- **Precisão:** PowerWorld Simulator é um software altamente preciso que pode ser usado para modelar e simular sistemas elétricos complexos.
- **Flexibilidade:** PowerWorld Simulator é um software flexível que pode ser usado para uma ampla gama de tarefas, incluindo projeto, operação e otimização de sistemas elétricos.
- **Usabilidade:** PowerWorld Simulator é um software fácil de usar que pode ser usado por uma ampla gama de usuários, desde engenheiros experientes até estudantes.
- **Suporte:** PowerWorld oferece uma ampla gama de suporte, incluindo documentação, treinamento e suporte técnico.
- **PowerWorld Simulator é uma ferramenta valiosa para qualquer empresa ou organização que trabalhe com sistemas elétricos. Ele pode ajudar os usuários a melhorarem a confiabilidade, eficiência e custo-benefício dos sistemas elétricos.**

FIGURA 7 - TELA INICIAL DO PROGRAMA



1.1.3.6 DigSILENT PowerFactory®

Estudos complexos para a integração de geração renovável em redes elétricas constituem uma parte integrante do planejamento e análise de redes. O PowerFactory combina extensas capacidades de modelagem com algoritmos de solução avançados.

Os modelos de rede e parque são facilmente criados usando uma caixa de ferramentas de desenho intuitiva, enquanto o uso de modelos de templates e uma extensa biblioteca de modelos permitem a construção eficiente de modelos completos de plantas.

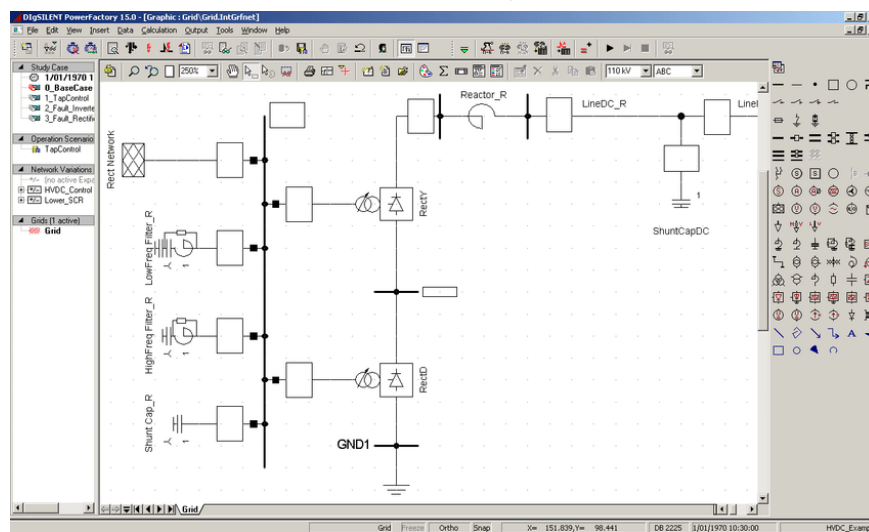
Um conjunto completo de ferramentas é fornecido para realizar a ampla gama de estudos necessários para a conexão à rede e análise de impacto na rede de parques eólicos, geração de energia fotovoltaica e todas as outras usinas de energia renovável. Tarefas recorrentes podem ser facilmente automatizadas usando ferramentas de scripting, para agilizar o processo de análise.

Os principais recursos deste software são:

- Avaliação econômica usando a ferramenta de Análise de Energia do Power Park
- Cálculos de fluxo de carga em estado estacionário levando em conta os limites de capacidade de potência reativa dependente de tensão, controladores de parque de energia com características de ponto de ajuste etc.
- Modelo de sistema fotovoltaico com cálculo de potência integrado baseado em radiação solar (tecnologia de 1 e 3 fases)
- Cálculo de Curto-Circuito de acordo com a IEC 60909 e ANSI, e método completo com suporte dinâmico de tensão de acordo com as configurações de fator k
- Simulação Quasi-Dinâmica de médio a longo prazo
- Modelos de vento estocásticos e ferramentas de análise probabilística
- Simulação de estabilidade balanceada e desbalanceada e EMT, por exemplo, para análise UVRT e OVRT
- Co-simulação em múltiplos domínios (RMS/EMT)
- Co-simulação com aplicações externas baseadas em "FMI para co-simulação"
- Modelos para todos os tipos estabelecidos de turbinas eólicas e geradores/conversores, sistemas fotovoltaicos, armazenamento de energia em baterias, STATCOMs e sistemas HVDC
- Modelos dinâmicos de acordo com IEC 61400-27-1 e WECC
- Interface para modelos externos de acordo com a IEC61400-27-1
- Modelagem definida pelo usuário para simulação Quasi-Dinâmica, RMS e EMT
- Suporte a modelos Modelica de tempo discreto
- Interface para modelos FMU de acordo com FMI 2.0

- Opção de criptografia para modelos definidos pelo usuário e opção de compilação (interface de modelo DLL)
- Avaliação da qualidade da energia, incluindo análise harmônica com equivalentes de Norton dependentes de frequência, varreduras de frequência de impedância e cálculo de Flickermeter
- Análise de Resposta de Frequência do Modelo (Diagramas de Bode e Nyquist)

FIGURA 8 -EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO PROGRAMA



1.2. ANÁLISE ENERGÉTICA

1.2.1 SOFTWARES AVALIADOS

1.2.1.1 HOMER PRO®

Desenvolvido em 1993 inicialmente pelo NREL (National Renewable Energy Laboratory) do U.S Department of energy, o HOMER® (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) foi lançado comercialmente em 2009 pela HOMER Energy LLC (LILIENTHAL, 2021).

Desde então por possuir uma interface de usuário (UI) intuitiva e repleto de possibilidades de avaliação de diferentes recursos, o HOMER® é o software específico mais utilizado para sistemas híbridos com alta penetração de fontes de energias renováveis, com mais de 250 mil usuários em 193 países. Em virtude do amplo uso, o software possui diversas citações em produções científicas, as mais importantes listadas no site do desenvolvedor.

1.2.1.2 RETSCREEN®

Criado em 1998 e mantido pelo Ministério de Recursos Naturais do Governo do Canadá, o RETScreen® é um software de eficiência energética, análise de desempenho e viabilidade específico para projetos e sistemas renováveis. Seu maior foco é em análise financeira e ambiental dos sistemas. Das ferramentas avaliadas, é a única sem um *site* específico para apresentação, download e demais abas úteis. Portanto, carece de informações comparado aos demais sistemas (RETSCREEN, 2021).

1.2.1.3 IHOGA® / MHOGA®

O iHoga® e MHoga® são duas versões do “Hybrid Optimization by Genetic Algorithms”, um software desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Zaragoza, na Espanha. As versões se diferem apenas no limite de potência dos sistemas para cada simulação, sendo de 5MW para o iHoga®, enquanto o MHoga® é a versão sem limites (IHOGA, 2021).

1.2.1.4 ENERGYPLAN®

Único software gratuito, o EnergyPLAN® simula a operação de diferentes sistemas energéticos como energia elétrica e demandas de aquecimento/resfriamento de setores da indústria e transporte. É desenvolvido e mantido pelo “Sustainable Energy Planning Research group”, da Aalborg University, Dinamarca. (ENERGYPLAN, 2021)

1.2.1.5 DYMOLA®

Dymola é um software de modelagem e simulação de sistemas complexos para múltiplas áreas da engenharia, baseado nas linguagens de modelagem Modelica, desenvolvido pela francesa Dassault Systèmes. Para simular o comportamento dos sistemas híbridos de energia, a fabricante disponibiliza bibliotecas Modelica específicas para a área de energia. Portanto, o Dymola® é pensado para aplicações gerais e multidisciplinares, a depender das bibliotecas utilizadas (DASSAULT, 2021).

1.2.2 COMPARAÇÃO DE FUNCIONALIDADES E LIMITAÇÕES

Tendo em vista a gama de funcionalidades de cada software avaliado, as **TABELAS 1 e 2** destacam as informações gerais e principais recursos e limitações dessas ferramentas.

TABELA 3 – INFORMAÇÕES GERAIS DOS SOFTWARES.

Software	Versão teste	Custo /ano	Desenvolvido por	Última versão	Plataforma	Limitações de potência	Maior resolução temporal	Disponível em
HOMER®	SIM	500-2000 USD	HOMER Energy LLC e NREL	3.11	Windows 7 ou +	-	1 minuto	LINK
RETSCREEN®	SIM	869 CAD	Natural Resources Canada Ministry	8.0	Windows 7 ou +	-	1 hora	LINK
IHOGA®	SIM	600 EUR	Universidad de Zaragoza	3.0	Windows XP ou +	5MW	1 min	LINK
MHOGA®	NÃO	1600 EUR				-		
ENERGYPLAN®	SIM	Gratuito	Sustainable Energy Planning Research group – Aalborg University	16.0	Windows XP ou +	-	1 hora	LINK
DYMOLA®	SIM	Sob Demanda	Dassault Systèmes	2022	Windows 8.1 ou +, ou Linux	-	-	LINK

TABELA 4 – DISPONIBILIDADE DE OPÇÕES DE ANÁLISE E SISTEMAS DE CADA SOFTWARE.

Software	Análise Econômica	Análise Técnica	Fotovoltaico	Eólico	Gerador Diesel	SAE	Biomassa	Hidrelétrica	H ₂
HOMER®	X	X	X	X	X	X	X	X	X
RETSCREEN®	X	X	X	X	X	X	X	X	
IHOGA®	X	X	X	X	X	X	X	X	X
MHOGA®	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ENERGYPLAN®	X	X	X	X	X	X	X	X	
DYMOLA®	X		X	X		X			

1.2.3 AVALIAÇÃO CRÍTICA DOS SOFTWARES

Apesar da ampla maioria dos softwares possibilitarem análises e inserção de diferentes sistemas de energia (**TABELA 3**), existem notáveis diferenças entre cada ferramenta avaliada.

Dentre as opções demonstradas nas **TABELAS 3** e **4**, a resolução temporal é um fator importante para a análise dos sistemas, além de aspectos ainda não abordados, associados à amigabilidade “*user-friendliness*” de cada software.

1.2.3.1 HOMER®

O HOMER® apresenta uma melhor usabilidade dentre os avaliados, tanto no uso quanto no processo de *download* e clareza das instruções. No site do desenvolvedor são apresentadas todas as informações básicas da ferramenta como: guia para iniciantes, vídeos tutoriais, suporte básico e diversos outros conteúdos. A partir da ferramenta o usuário também pode contratar um especialista no software para prestar consultorias caso desejado. Um ponto bastante positivo é que o HOMER® é bastante direto para alterações nos dados desejados de sistemas, componentes, combustíveis etc. A resolução temporal máxima do software é de 1 minuto, caso o usuário disponha de dados com esta resolução temporal.

A **FIGURA 9** mostra o layout inicial da ferramenta, onde há menus bastante objetivos e, à esquerda, uma janela alertando a falta de itens básicos do sistema a ser simulado, facilitando a identificação de erros.

A **FIGURA 10** mostra o layout de baterias, onde é possível escolher equipamentos do mercado ou inserir modelos personalizados. Na parte à esquerda, enquanto se altera os dados e fontes conectadas, há uma esquematização do sistema a ser simulado.

FIGURA 9 - TELA INICIAL DO HOMER (2021)

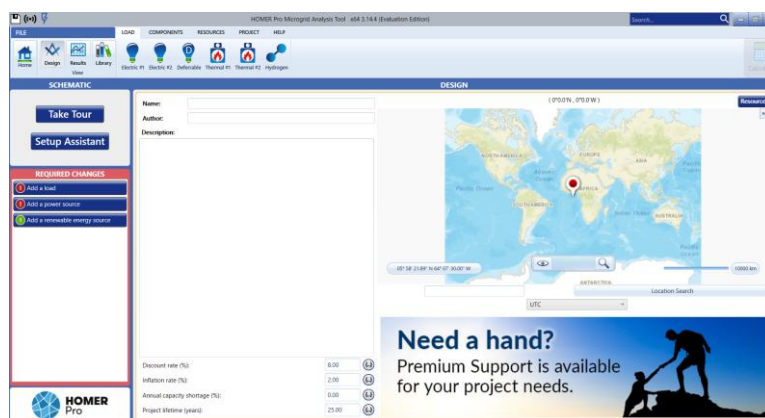
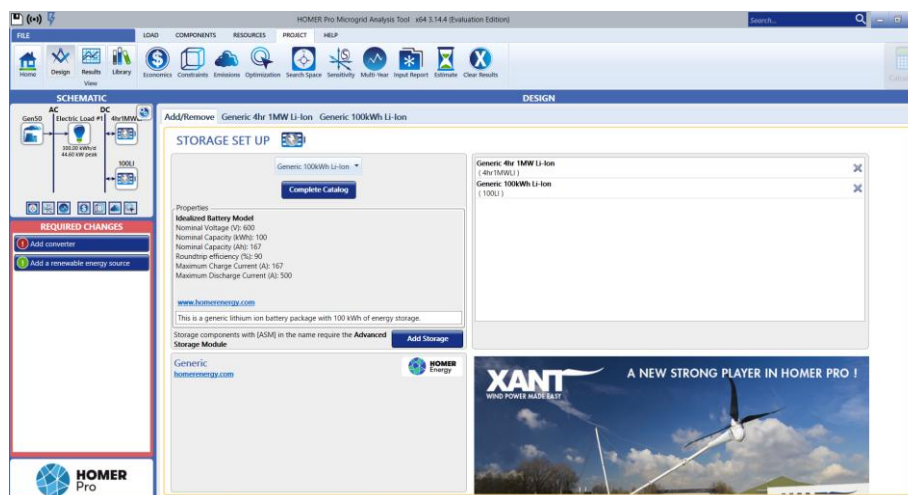


FIGURA 10 – TELA DE ALTERAÇÃO DO SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA DO HOMER (2021).

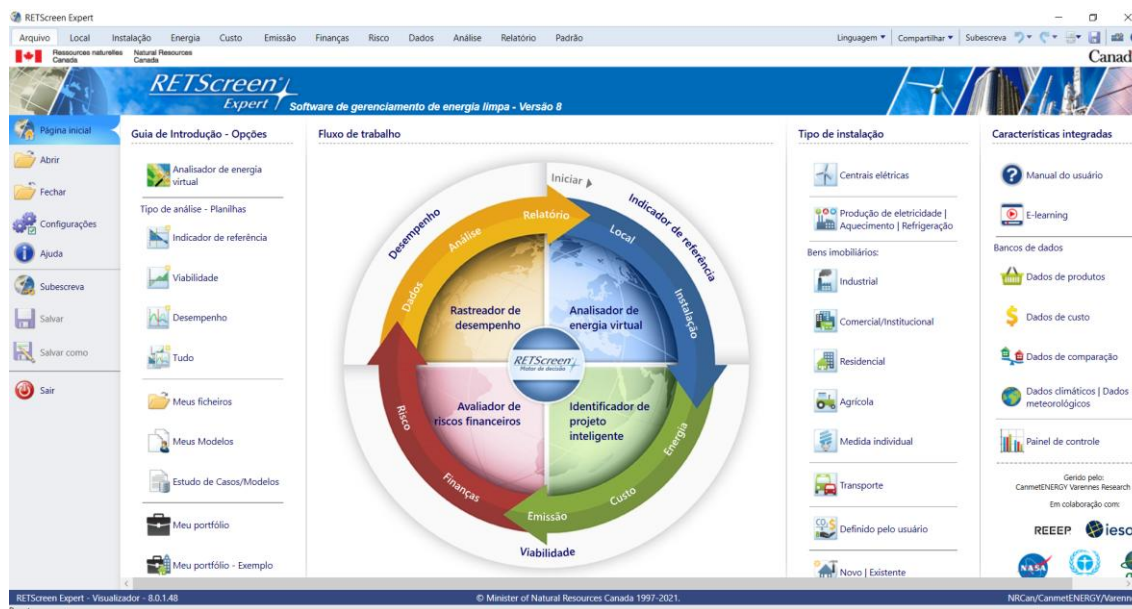


1.2.3.2 RETSCREEN®

O RETScreen® possui interface moderna. Contudo, as informações da ferramenta no site do desenvolvedor são superficiais e de difícil identificação.

Visualmente a ferramenta é rica em informações e atalhos (FIGURA 11), sendo útil para usuários bem ambientados com a ferramenta, porém pode confundir usuários iniciantes.

FIGURA 11 – TELA INICIAL DO RETSCREEN (2021).



Figura

Já na execução do software, a aba “ajuda” possui muitas explicações sobre sistemas e componentes, porém de difícil navegação para identificação dos itens pesquisados. Essa dificuldade se mantém nas alterações dos componentes a serem simulados (FIGURA 12 E 13),

nos quais é necessário explorar várias abas e barras de dados para ter segurança nas alterações realizadas.

FIGURA 12 – TELA DE ALTERAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA (RETSCREEN, 2021).

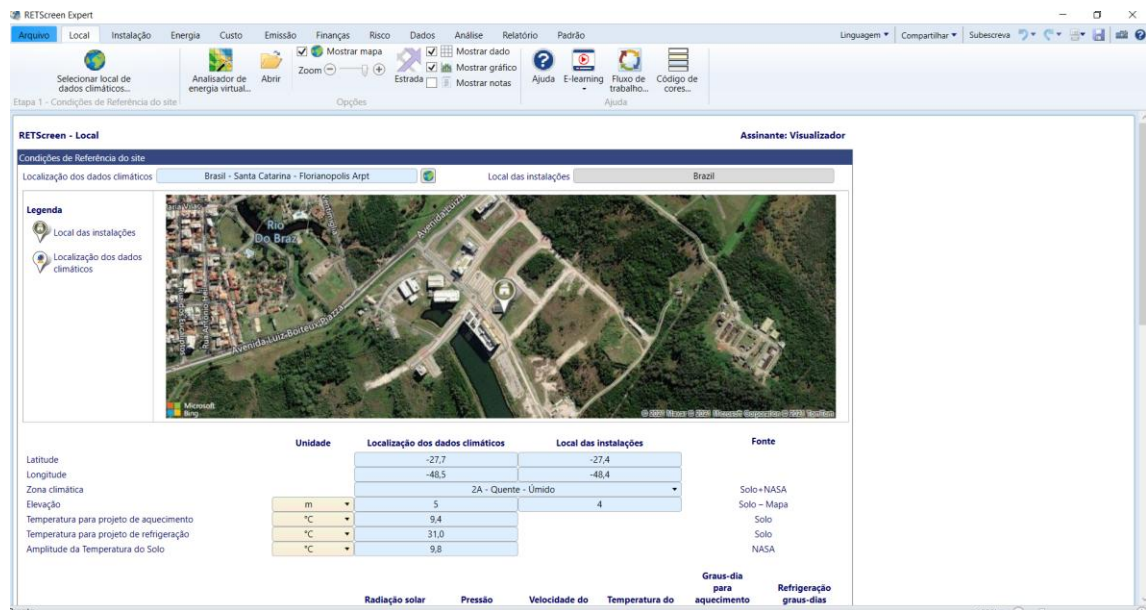
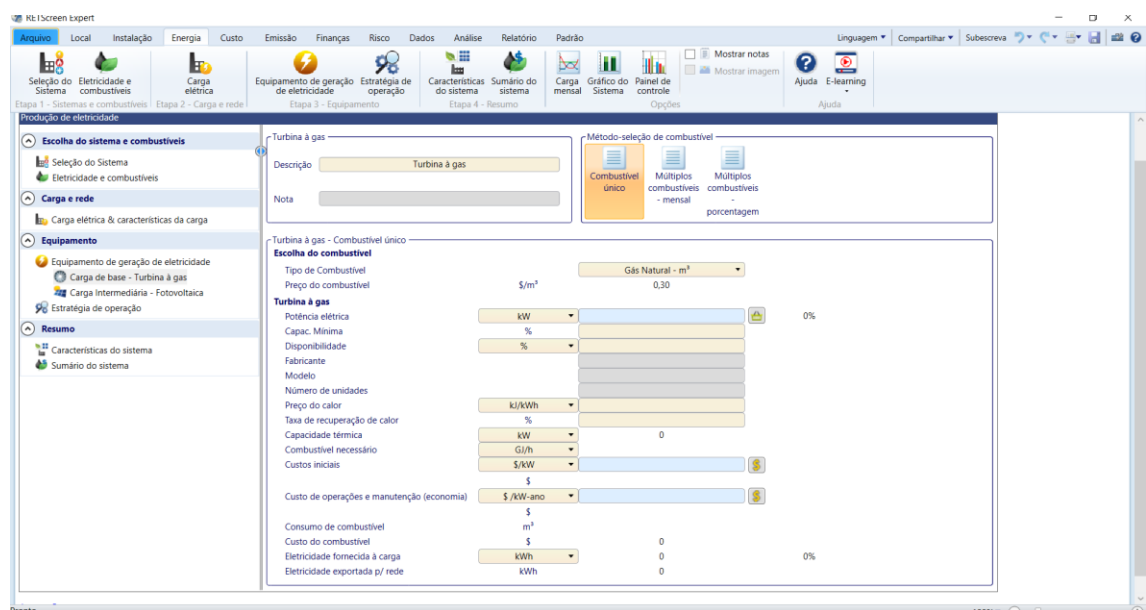


FIGURA 13 – MODIFICAÇÃO DOS DADOS DE UMA TURBINA A GÁS E BIOMASSA (RETSCREEN, 2021).



1.2.3.3 IHOGA®/MHOGA®

Como exposto na seção introdutória, o iHoga® e MHoga® são o mesmo software, diferindo apenas na limitação de simulação de 5MW para o software iHoga®, não havendo outras grandes diferenças entre as ferramentas. A interface de usuário é bastante simplificada

(FIGURA 14). Apesar disso, é possível fazer diversas alterações e incluir novas configurações de componentes (FIGURA 15). Assim como o HOMER®, o software é bastante objetivo em seus menus, possui site próprio com informações claras de como fazer download, adquirir o software, ter acesso ao guia de iniciante e manual de usuário e encontrar novidades de atualizações e recursos, além de possuir resolução temporal máxima de 1 minuto.

FIGURA 14 – TELA INICIAL DE UM PROJETO DO IHOGA (2021).

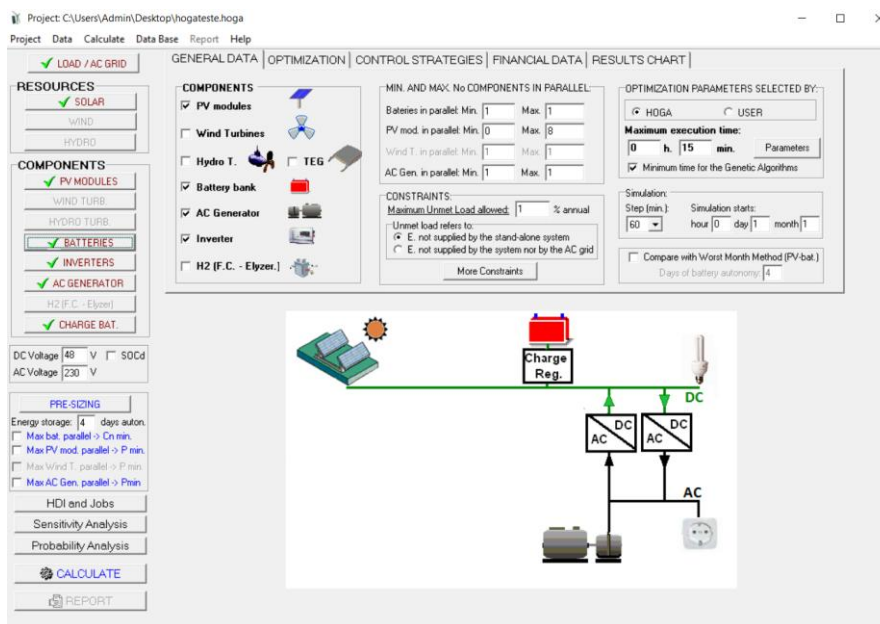
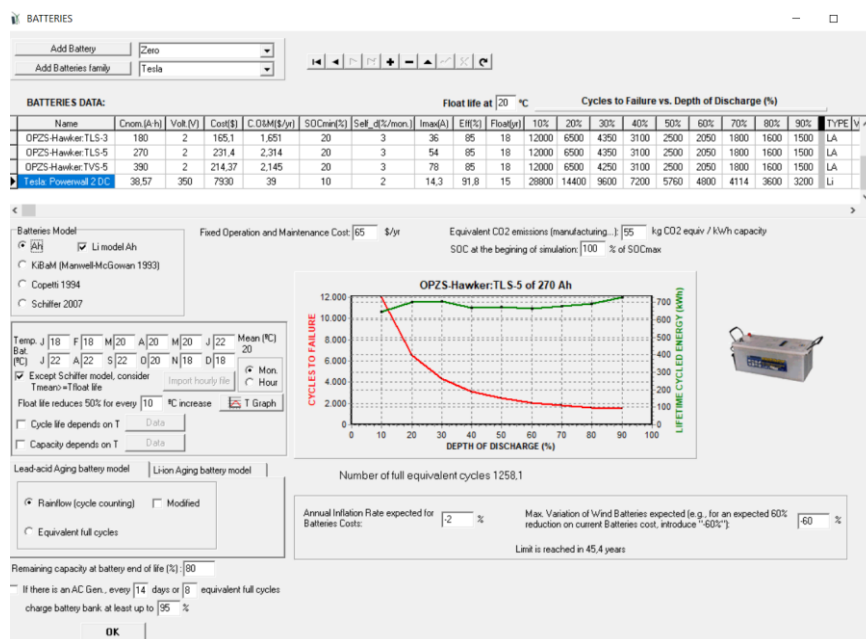


FIGURA 15 – TELA DE ESCOLHA E ADAPTAÇÃO DE BATERIAS (IHOGA, 2021).



1.2.3.4 ENERGYPLAN®

O EnergyPLAN® possui uma interface intermediária entre os softwares avaliados (FIGURA 16), porém falta clareza na alteração de dados do projeto (FIGURA 17). O software possui todos os recursos avaliados na TABELA 4 e um site próprio, com informações bem expostas, inclusive com aba específica para recursos úteis como modelos já existentes para países, banco de dados e produções científicas que usaram o EnergyPLAN®. Ainda, esse é o único software 100% gratuito.

FIGURA 16 – TELA INICIAL DO ENERGYPLAN (2021).

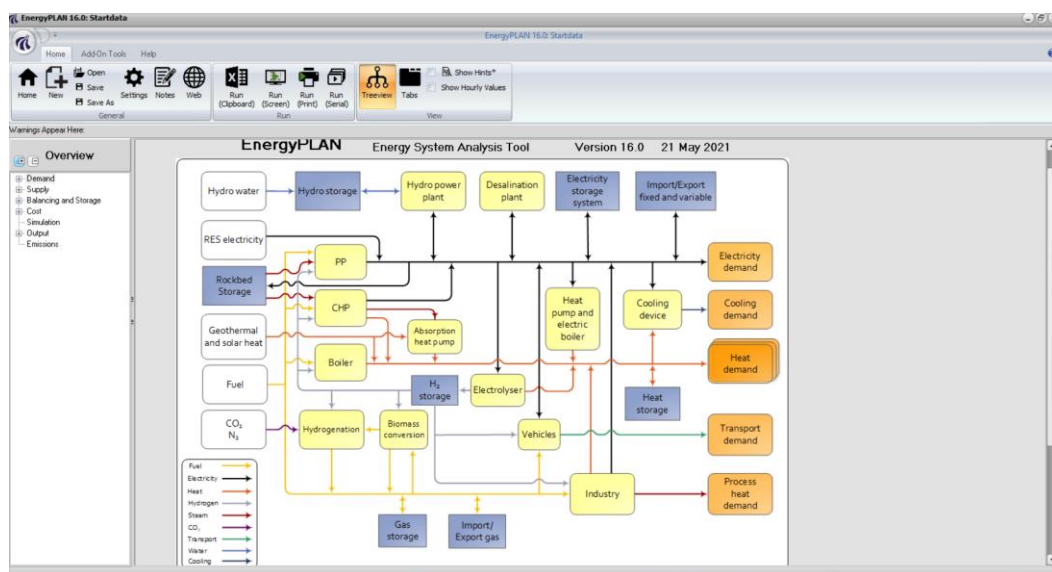


FIGURA 17 – ABA DE ALTERAÇÃO DE DADOS PARA GERAÇÃO DE CALOR E ELETRICIDADE (ENERGYPLAN, 2021).

Electricity Production:	Group 1:	Group 2:	Group 3:	Total:	Unit:
District Heating Production:	0.00	0.00	0.00	0.00	TWh/year

Boilers

	Group 1:	Group 2:	Group 3:	Total:	Unit:
Thermal Capacity	0	0	0	0	MJ/s
Boiler Efficiency	0.9	0.9	0.9	0.9	Percent
Fixed Boiler share	0	0	0	0	

Combined Heat and Power (CHP)

CHP Condensing Mode Operation:

	Group 1:	Group 2:	Group 3:	Total:	Unit:
Electric Capacity (PPI)	0	0	0	0	MW-e
Electric Efficiency (PPI)	0.45	0.45	0.45	0.45	

CHP Back Pressure Mode Operation:

	Group 1:	Group 2:	Group 3:	Total:	Unit:
Electric Capacity	0	0	0	0	MW-e
Thermal Capacity	Auto	0	0	0	MJ/s
Electric Efficiency	0.4	0.4	0.4	0.4	
Thermal Efficiency	0.5	0.5	0.5	0.5	

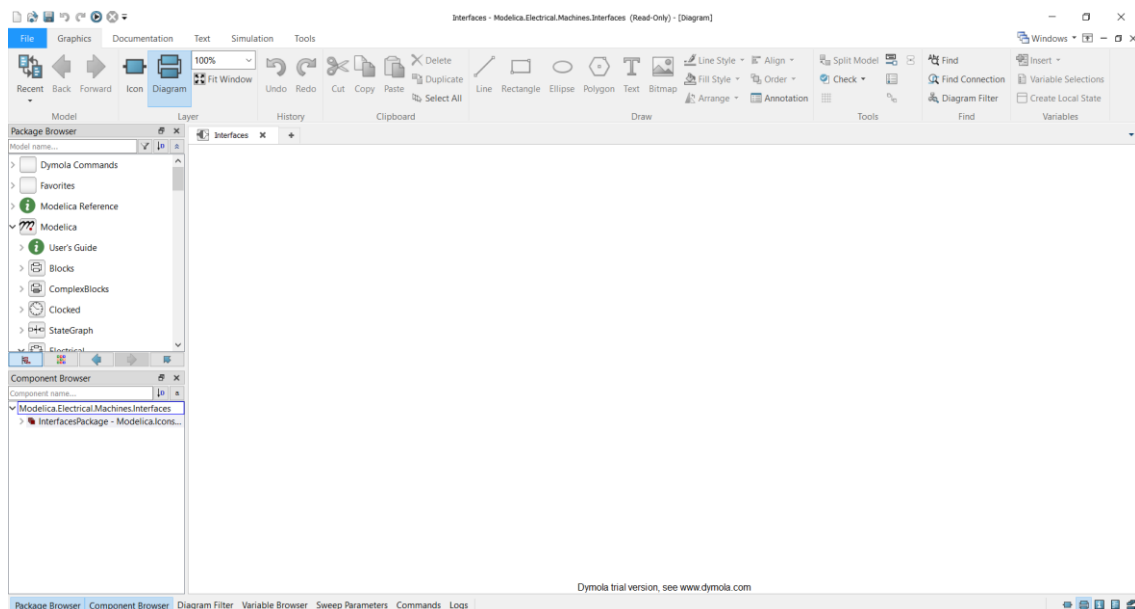
Industrial CHP

	Group 1:	Group 2:	Group 3:	Total:	Unit:
CHP Electricity	0	0	0	0.00	TWh/year
CHP Heat Produced	0	0	0	0.00	TWh/year
CHP Heat Demand	0	0	0	0.00	TWh/year
CHP Heat Delivered	0.00	0.00	0.00	0.00	TWh/year

1.2.3.5 DYMOLA®

O Dymola® é também o software menos específico para avaliação de sistemas híbridos, quando comparado aos demais, pois é um software de modelagem para sistemas complexos para múltiplas áreas da engenharia, baseado nas linguagens de modelagem Modelica®. Para usuários não ambientados na construção através de diagramas de blocos e.g. (Simulink), dificulta a navegação e modelagem no software. Além disso, o site tem grandes deficiências em relação aos demais, não apresentando informações úteis como guia para iniciantes, preços e resolução temporal dos dados. A **FIGURA 18** mostra o layout inicial da ferramenta.

FIGURA 18 – TELA INICIAL DO DYMOLA (2021).



2. COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES

Estudos de transitórios elétricos são implementados para explorar o comportamento de sistemas elétricos durante ocorrências como: curtos-circuitos, perdas de carga ou de elementos da transmissão, entre outras instâncias. Esses estudos podem ser realizados com a assistência de softwares de simulação como o ANATEM®, ATP®, PS SIMUL®, EMTP-RV®, ETAP®, PowerWorld Simulator®, DIgSILENT PowerFactory®, GE PSLF®. Esses programas proporcionam dados sobre o desempenho do sistema durante esses eventos, contribuindo para a avaliação da estabilidade do sistema e a identificação de possíveis problemas que possam interferir em sua operação.

O entendimento e otimização da distribuição de energia em redes isoladas é fundamental para assegurar a eficiência energética e a resiliência desses sistemas. Nesse sentido, os softwares de análise energética são de grande importância. Eles oferecem uma plataforma para modelagem e simulação detalhada, viabilizando análises aprofundadas do desempenho energético, detecção de ineficiências e projeções de demanda futura. Além disso, essas ferramentas favorecem a integração eficaz de fontes de energia renováveis. Adicionalmente esses softwares podem proporcionar uma análise econômica.

O mercado dispõe de um número limitado de programas para determinar os efeitos técnicos e econômicos de um sistema híbrido quando analisados os aspectos energéticos. Entre eles estão Retscreen®, Homer®, iHoga/Mhoga®, Energyplan® e Dymola®. Cada software apresenta características e limitações particulares, que devem ser levadas em consideração antes de sua aquisição. Isso inclui quais fontes de energia podem ser integradas ao sistema, o intervalo de tempo para o qual os resultados serão calculados e a quantidade de dados que podem ser registrados para posterior análise.

Transição Energética em Sistemas Isolados (TE Sisol)

Relatório Resumo – Produto 12



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

