

Mitigação de Emissões em uso de geradores diesel. Compensação Reativa, Qualidade da Energia Elétrica e operação eficiente.

Jose Starosta, Me
Escola Politécnica – USP
Ação Engenharia
jose.starosta@acaoengenharia.com.br

Prof Dr. Carlos Frederico Maschini de Almeida
Escola Politécnica – USP
cfmalmeida@usp.br

Resumo: O propósito do artigo considera a aplicação de geradores diesel-GGDs como fontes redundantes de energia elétrica na alimentação de cargas de missão crítica em data-centers (DCs), hospitais e outras que utilizam esses equipamentos em suas operações. São considerados aspectos de redução da eficiência em função da redução de fator de utilização (FU) dos equipamentos em operação redundante, aspectos das perdas devidas ao fator de potência e a necessidade de compensação de energia reativa adequada aos GGDs. Foram também considerados os indicadores da operação baseado em dados reais colhidos em DC com o objetivo de estimar o potencial aumento da eficiência e de redução de emissões de gases de combustão (CO₂) baseado nas informações sobre a demanda da carga de DC no sistema elétrico brasileiro e o considerável aumento projetado para os próximos dez anos. São apresentados casos vividos pelos autores aplicados ao contexto do tema.

Abstract— The purpose of the article considers the application of diesel-generators as redundant sources of electrical energy in powering mission-critical loads in data centers (DCs), hospitals and others that use this equipment in their operations. Aspects of efficiency reduction due to the reduction of the utilization factor (FU) of equipment in redundant operation, aspects of losses due to the power factor and the need for adequate reactive energy compensation to the GGDs are also considered. Operation indicators based on real data collected in DC were also considered to estimate the potential increase in efficiency and reduction of combustion gas (CO₂) emissions based on the information on the demand for DC load in the Brazilian electrical system and the considerable increase projected for the next ten years. Cases experienced by the authors applied to the context of the theme are presented.

Keywords: Data Centers, critical loads, Emissions, Diesel Generators, Power Quality, Power Factor compensation, infrastructure, energy costs.

I. INTRODUÇÃO

Operação com grupos geradores diesel (GGDs) fora da condição ideal implicam em consumo de combustível adicional e consequente emissões de gases efeito estufa (GHG) que podem ser reduzidas quando são aplicados como é o caso de Data Centers. As demandas estimadas devido das cargas de missão crítica dos Data Centers (DCs) no Brasil são de 9 GW[1][2] para a próxima década. O consumo de combustível e emissões não se relacionam somente às interrupções de suprimento pela distribuidora, mas em instantes complementares pois a operação confiável dos GGDs requerem testes operacionais e as cargas são mantidas alimentadas por estes quando a rede da distribuidora não está totalmente estabilizada após os distúrbios de Qualidade de Energia Elétrica -QEE.

II. APLICAÇÃO DOS GGDs EM DCs

Os GGDs são por enquanto as melhores alternativas para as aplicações de alimentação de cargas na falta da fonte principal em operação conjunta com outras fontes de contingência como os UPSs (Uninterruptible power system). Os GGDs podem alternativamente serem alimentados por gás, com menores emissões, porém não possuem resposta dinâmica adequada para atendimento às cargas

transitórias, além de necessitarem de períodos significativamente maiores que os primeiros para entrar em regime [2][3][2]. As emissões têm sido mitigadas com a utilização de combustíveis mais “limpos” como o óleo diesel S10[4]. As baterias em sistemas BESS (Battery energy store system) [5] surgem como possíveis soluções, mas não possuem ainda boa relação de custo/benefício considerando a autonomia desejável. O uso dos GGDs em DCs deve prever alguns cuidados operacionais operando como fonte de back-up ou mesmo como fonte principal de energia como previsto pelo “Uptime Institute” [6]. Outras aplicações dos GGDs são relacionadas a transportes marítimos [7][8]. A operação das cargas supridas pelos GGDs são normalmente mantidas mesmo após o retorno da fonte principal em alguns casos evitando a transferência de retorno para a rede da distribuidora em situações em que a Qualidade da Energia Elétrica-QEE não apresente comportamento confiável ou desejável nos indicadores da tensão em regime permanente, regulação de tensão, distorção de tensão, afundamentos e elevações de tensão e comportamento da frequência. Os GGDs alimentam as cargas não só nas situações citadas, mas também nas situações de testes de operação e rotinas de manutenção preventiva, alimentando nesses casos cargas parciais ou bancos de cargas como previsto por normas específicas[9]. Outra aplicação dos GGDs que operam em back-up considera a situação de instabilidade de redes de distribuição devido as más condições climáticas, quando os operadores de DCs, mantêm como rotina o suprimento de energia das cargas críticas pelos GGDs através das informações obtidas de serviços oferecidos por institutos de pesquisa e laboratórios [10] quando a probabilidade de distúrbios na rede das distribuidoras é aumentada em função de tempestades e descargas atmosféricas. Os impactos mecânicos nas redes aéreas pela vegetação da circunvizinhança é outro fator importante relacionado ao comportamento do clima. Alguns pontos importantes do uso e aplicação dos GGDs são:

- A. Normas de Especificação: Especificação, dimensionamento, aplicação e operação tratados na norma ISO 8528 (1 a 12) [11].
- B. Atendimento à curva de capacidade [12] reproduzida na Figura 1 que apresenta os pontos de operação adequados considerando o fator de potência da carga alimentada pelo GGDs, além de cuidados com sobrecarga. Cargas ou componentes capacitivos como os filtros de alguns UPS's ou capacitores de compensação reativa e filtros passivos merecem cuidados específicos a serem tomados com atenção em alguns pontos:
 - A zona de superaquecimento indicada na Figura 1 se torna crítica na medida em que a carga, especificamente a potência ativa, diminua (Potência ativa menor que 0,6 pu)

com a manutenção de valores de potência reativa, reduzindo o fator de potência de forma significativa.

- A condição imposta ao gerador com carga capacitiva (lado esquerdo da curva da Figura 1) torna a operação do gerador instável pela impossibilidade de o controle de excitação do gerador operar adequadamente.
- A alimentação dos GGDs de cargas transitórias como a de comportamento ilustrado na Figura 2, poderá causar as

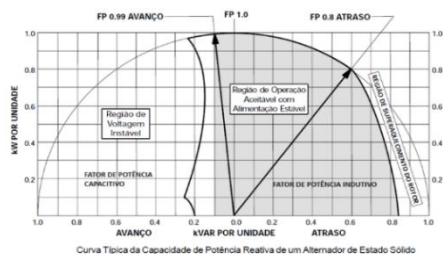


Figura 2 – curva de capacidade – gerador

duas situações acima consideradas. A falta de compensação reativa ou sobre compensação de potência reativa quando o equipamento de compensação não estiver adequado para manobras em tempos adequados; muito rápidos caraterísticos dessas cargas. A perda de regulação de tensão ao lado direito do registro indica alimentação por gerador.

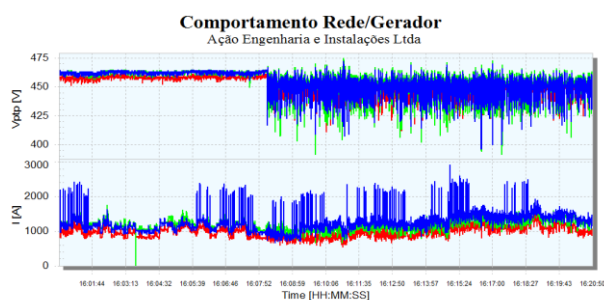


Figura 1– Comportamento da tensão com mudança da fonte de rede para GGD

III. INFLUÊNCIA DA IMPEDÂNCIA DO GERADOR NA RT E FREQUÊNCIA DE RESSONÂNCIA

A mudança da impedância das fontes quando a carga é alimentada por geradores após transferência da alimentação da rede da distribuidora de energia, impõe efeitos na regulação de tensão e na mudança da frequência de ressonância do sistema quando capacitores compensam o fator de potência da carga. Enquanto transformadores industriais possuem impedâncias da ordem de 0,06pu a 0,08pu, a impedância dos geradores são: x”d: entre 0,15pu e 0,18pu e xd:3,5 pu [13]. A Figura 2, obtida por medição efetuada pelo autor do artigo apresenta o comportamento da tensão de alimentação de carga transitória através de duas fontes em instantes diferentes (rede da distribuidora e gerador), onde se observa a sensível perda de regulação de tensão com alimentação pelo gerador. Nesse caso, além de estudos específicos de dimensionamento, a adoção da solução da compensação estática[14], conforme Figura 7, 8 e 9, é uma solução aplicável caso for desejável efetuar a operação de contingência com uso dos geradores. Ainda, mesmo com alimentação da carga pela rede da distribuidora para as cargas transitórias, em desejando-se compensar o fator de potência e as VTCDs a solução da compensação estática pode ser a única possível em função da potência de curto-circuito e comportamento da carga.

IV- EFEITOS DAS PERDAS EM FUNÇÃO DO FP

O fator de potência das cargas são inversamente proporcionais as correntes nos circuitos que as alimentam com influência nas perdas Joule em enrolamentos de geradores, transformadores e circuitos, sendo o cálculo da perda estimada [15] apresentada em (1) que calcula as perdas definidas por:

$$P_{PF}=I_{ph}^2R_{ph}(1-DPF^2) \quad (1)$$

Onde:

- P_{PF} são as perdas ôhmicas devidas ao FP das cargas[W]
- I_{ph} é a corrente de fase inicial [A]
- R_{ph} é a resistência de fase [Ω]
- D_{PF} é o fator de potência de deslocamento (FP da frequência fundamental)[pu]

No caso dos geradores considerados em [13] com características nominais de 1500kW/1875kVA em 13,8kV, o enrolamento do alternador possui resistência de 1,1408 Ω e corrente nominal de 78,4 A; a estimativa das perdas apresentadas na Figura 3 considerou a formulação clássica $perdas(W)=RI^2$ e a compensação reativa da carga a ser implementada incorrerá em redução dessas perdas. A Tabela 1 indica alguns pontos específicos de compensação reativa e redução de perdas Joule, tomando como base a Figura 3.

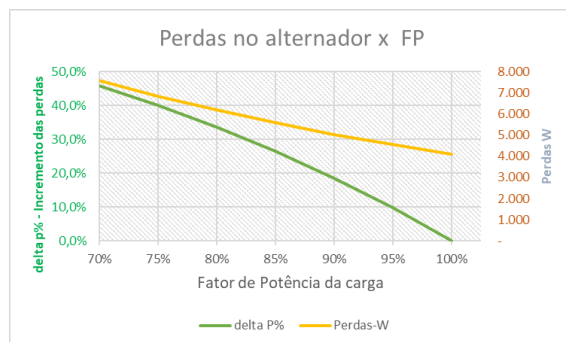


Figura 3– perdas no alternador em função do FP da carga

Os valores da Tabela I são determinantes para a definição da eficiência do conjunto dos GGDs e expressam a redução das perdas nos circuitos e enrolamentos.

TABELA I – VARIAÇÃO DO FP DA CARGA E REDUÇÃO DE PERDAS NO ALTERNADOR

mudança do FP%	Redução das perdas
80-90	44,90%
85-90	30%
85-95	63,20%
80-95	71%

Apesar de expressivas, as variações apresentadas na TABELA I quando comparados aos valores nominais da carga, apresentarem pouca representatividade em relação a potência nominal do gerador, quando o fator de potência da carga varia de 80% para 100% não são desprezíveis quando se busca eficiência na operação. Não foram consideradas as perdas complementares nos circuitos ou correntes adicionais relativas as correntes harmônicas ou efeitos de ressonância harmônica.

V- EFICIÊNCIA DOS GGDs

A Figura 4 apresenta o comportamento da eficiência de geradores considerando o carregamento e fator de potência, além de desconsiderar por razões operacionais operação do equipamento com carga menor que 0,3 pu. Também se verifica a variação da eficiência do gerador com a variação do fator de potência. Com a mudança do FU dos GGDs de 40% para 70%, e correção do FP da carga de 80% para 95% a eficiência dos geradores muda de 90% para 92%. Uma ação combinada elevando o fator de utilização para 70% e compensando o fator de potência de 80% para 100%, a eficiência dos GGDs muda de 89% para 93,5% com a oportunidade de aumento da eficiência dos geradores da ordem de 4,5%. A curva “laranja” inserida no gráfico original é uma interpolação gráfica para operação com fator de potência da ordem de 90%. O aumento da eficiência global reduz o consumo de combustível e as emissões de gases de forma proporcional. Deve-se considerar na aplicação da Figura 4 os cuidados relativos aos GGDs para atendimento as cargas com fator de potência próximo de 100%, já que o fator de potência nominal do grupo gerador é definido para cargas com FP de 80% [12].

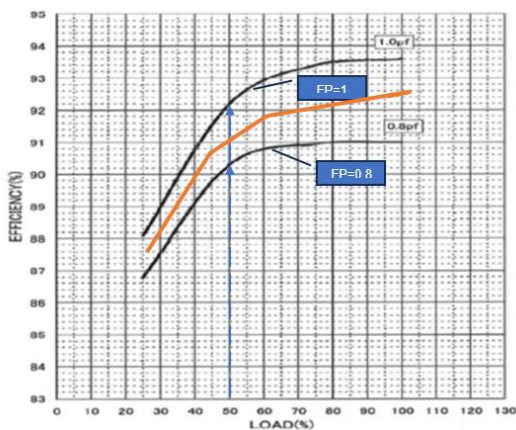


Figura 4 -Eficiência do gerador e o fator de potência da carga

O atendimento simultâneo das relações apresentadas nas Figura 1 e Figura 2 deve considerar os cuidados em manter o fator de potência das cargas alimentadas por geradores na região indutiva da curva da Figura 1 em qualquer situação de perfil de carga incluindo a situação crítica da variação abrupta do FP em cargas transitórias. A Figura 5 apresenta a variação do fator de potência-FP (curva B-verde) da carga em função do carregamento de cargas motoras atingindo valores máximos de fator de potência da ordem de 80%. Há de se considerar que a compensação reativa possa ser empregada quando o sistema opera com carga reduzida, em alimentação direta ou com acionamento eletrônico com os devidos cuidados com a ressonância harmônica [17]. A Figura 5 também indica o comportamento do rendimento da carga motora (curva A – vermelha) aumentando com a elevação do carregamento do motor.

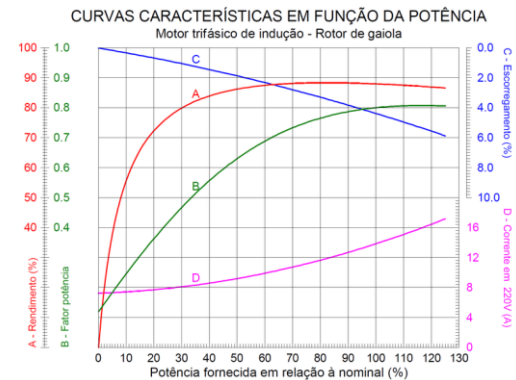


Figura 5- Características de motores em função do carregamento.

VI- OPERAÇÃO DE GGDs COM CARGAS PARCIAIS

A operação de geradores em paralelo em configuração “n+x” sendo x o grau de redundância de equipamentos de forma a manter maior disponibilidade reduz o fator de utilização dos geradores a valores da ordem de 30% a 60% dependendo da configuração. A Figura 6 [13] apresenta o consumo em litros/kWh em função do carregamento de um motor diesel de 1620 kW e alternador de 1500 kVA. O fator de utilização (F.U.) é o indicador do carregamento do GMG. Em [11] os autores indicam os cuidados com aumento de consumo de combustíveis e emissões devido a falta de estratégia do compartilhamento da carga nesses sistemas.

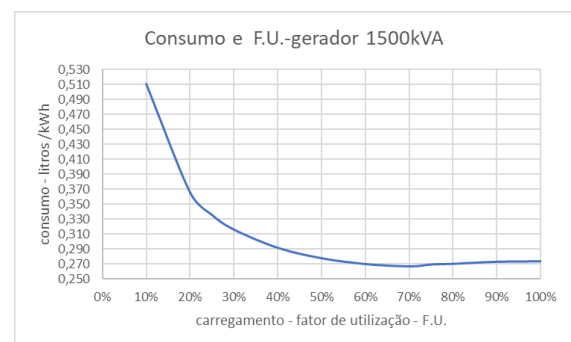


Figura 6– Consumo de óleo e energia elétrica gerada

VII- A COMPENSAÇÃO ESTÁTICA DE ENERGIA REATIVA

As estratégias a serem adotadas no projeto e operação de DC devem manter o FU de pelo menos 50%, conforme a Figura 6 e considerar a definição dos GGDs associados a blocos de cargas em operação com demandas estimadas, escalabilidade de fontes e cargas e compensação estática de energia reativa tempo real. A ação conjunta da operação com FU > 50% e FP da ordem de 95% conforme as Figura 4 e Figura 6 possibilita o aumento da eficiência e redução de consumo de combustível. Os SVC (*static var compensators*) [14] são equipamentos que podem auxiliar nessa atividade e possuem diversas configurações como as apresentadas na Figura 7 e em operação conjunta com geradores permitem o controle da energia reativa da carga em tempo real possibilitando a operação dentro dos limites da curva de capacidade como apresentado na Figura 8. Diante desse fato, sistemas de compensação reativa convencionais com manobra mecânica não são aplicáveis em função do tempo de reação dos equipamentos incompatíveis a resposta dinâmica dos GGDs.

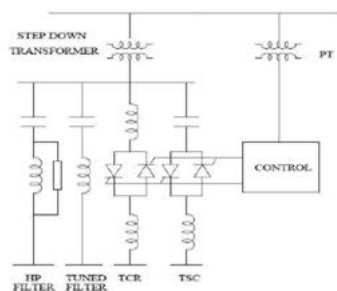


Figura 7– Configurações de TSC e TCR

Além da compensação plena da potência reativa sem efeitos relacionados à sobre compensação devido ao tempo de reação de um ciclo desses compensadores [17][18], compensadores estáticos podem possuir a função de ajuste do fator de potência desejável programável em função da fonte de alimentação permitindo-se ajustes de operação pela rede com 100% e gerador com 90% se conveniente. A Figura 8 apresenta os componentes do compensador estático que devido à compensação instantânea, não verifica-se melhora da regulação de tensão em regime permanente, como também a redução dos efeitos das variações de tensão de curta duração - VTCDs, originadas pelas cargas transitórias, mantendo ainda a adequação da capacidade dos geradores para atendimento a picos de potência reativa, premissa para os sistemas de compensação reativa para atendimento de sistemas com cargas alimentadas por geradores em situação de contingência (“back-up”) ou ainda como fonte principal como previsto em [6]. A resposta imediata (até 1 ciclo) durante a variação da carga, evita que o fator de potência permaneça na região capacitiva mesmo por curtos intervalos, sem que o sistema de proteção de excitação seja atuado, evitando o desligamento dos GGDs. Sistemas estáticos de compensação reativa com resposta de um ciclo são indicados para as situações de compensação reativa em cargas transitórias e possuem aplicações comprovadas em operação com GGDs.[18]

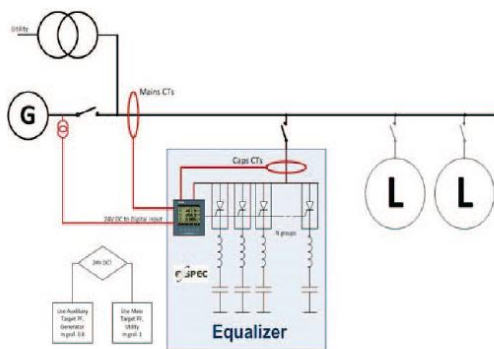


Figura 8 - Esquema de compensador estático com programação para dupla fonte (rede e gerador).

A Figura 9 apresenta equipamentos de compensação estática instalados.



Figura 9 – Sistema de compensação estática de energia reativa instalado

Em caso vivido pelo autor [18], a Figura 10 apresenta na fase 1 operação da carga com rede da distribuidora, na fase 3 com GGD's. Na fase 2 na operação dos GGDs com compensadores estáticos, observa-se que a compensação reativa permite ao gerador alimentar a carga em perfil de tensões e distorções de tensões na Figura 11 aceitáveis ao contrário da fase3 em que foram verificados desligamentos intempestivos da carga.

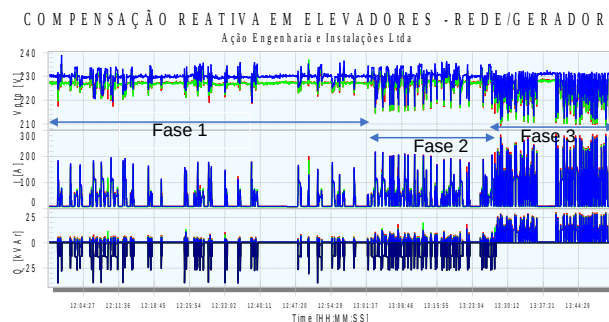


Figura 10 – Registros do comportamento da tensão, potência reativa e corrente

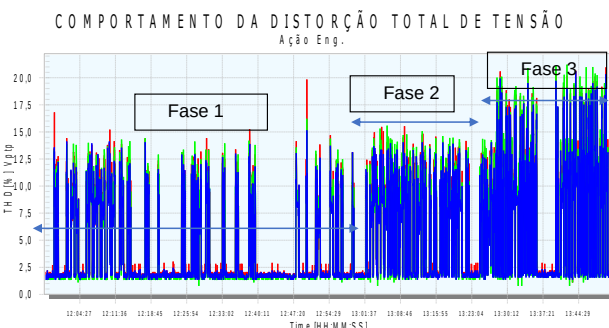


Figura 11– Perfil de distorção harmônica de tensão – THDV

VIII- SIMULAÇÕES DE COMPORTAMENTO DE FONTES E CARGAS

Devido a necessidade de aplicação de GGDs em topologias de configuração (n+x) para suprimento de cargas de missão crítica como suprimento de energia em DCs, hospitais e outras, sendo n o número de GGDs necessários para o suprimento de carga sem contingência e x o número de GGD(s) adicionais na operação em regime de contingência, deve-se considerar algumas situações como a definição da tipologia das cargas (grupo de cargas alimentadas e seus fatores de potência, cargas equivalente, características em regime permanente e transitório, uma vez que a regulação de tensão tem relação com o comportamento dinâmico dos motores diesel e que as variações abruptas de carga podem impactar na regulação de tensão. Outros pontos de interesse são associados às cargas não lineares e impacto na distorção de tensão e comportamento da frequência em função do carregamento. Para a estimativa do FU dos geradores em função da configuração, serão efetuadas simulações de situações típicas em DC que consideram:

- Grupo de cargas compostos por cargas TI, cargas mecânicas com o indicador PUE de 1,5 (PUE- métrica que define a relação entre a energia total consumida em DC e exclusivamente aquela relativa às cargas de processamento) **Erro! Fonte de referência não encontrada..**
- FP de cargas TI: 0,97
- FP de cargas mecânicas (não TI): 0,85
- Taxa de aumento de consumo de energia reativa devido ao paralelismo de geradores: 10% [12]

- Regime permanente e Regime transitório devido à variação da carga e às partidas das cargas mecânicas transitórias.
- Topologias n+1 e n+2 com carregamento máximo dos conjuntos entre 0,5pu e 0,7pu

A Figura 12 indica o fator de utilização de GGDs em paralelo com topologias n+1 e n+2 com FU máximo do conjunto de 0,5pu a 0,7pu. Indicações presentes na legenda da figura.

- A configuração n+1 com carregamento máximo de 0,7 pu opera em níveis aceitáveis de FU.
- As configurações “n+2” apresentam valores de FU limítrofes aos valores mínimos de 30%. A opção para configuração n+2 considera a necessidade de potência reativa absorvida pelas cargas mecânicas.
- A Figura 13 e a TABELA II indicam problemas de operação em demandas de geração com operação maior que 4 equipamentos e devido ao consumo de potência reativa indica situações críticas de operação em regime transitório que deve ser mitigada pois o consumo de potência reativa é maior que a capacidade de geração pela fonte (GGDs), relação $Q_{carga}/Q_{fonte} < 1$. A injeção de potência reativa de forma adequada (no caso entre 200 e 400 kvar) traria estabilidade ao sistema.
- Os mesmos compensadores estáticos podem ser aplicados em regime permanente para evitar a operação n+2 elevando o FP de 0,9, estimados nessa configuração para valores superiores a 0,98.

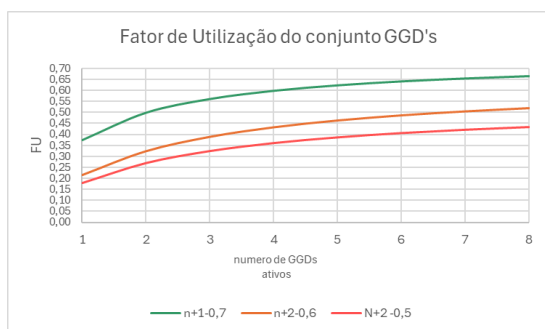


Figura 12 – Fator de Utilização de geradores com topologia n+1 – FU max de 0,7

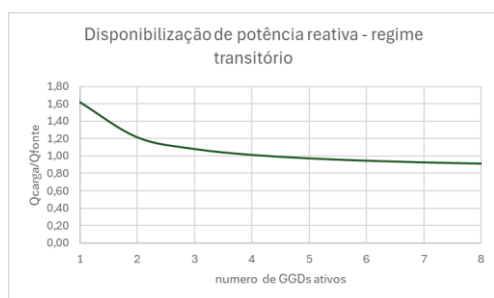


Figura 13-Relação de potência reativa gerada e consumida pela carga-n+1 – FU max 0,7.

TABELA II - RELAÇÃO DE POTÊNCIA REATIVA GERADA E CONSUMIDA (PU)

n	Qcarga	Qgerado	rel Q
2	0,74	1,2	1,62
3	1,48	1,8	1,21
4	2,22	2,4	1,08
5	2,97	3	1,01
6	3,71	3,6	0,97
7	4,45	4,2	0,94
8	5,19	4,8	0,92
9	5,93	5,4	0,91

IX- AVALIAÇÃO DE USO DE GMG EM CASO REAL EM DC- ESTIMATIVA DE USO DE GGD'S

Para entendimento do modelo da energia gerada pelos GGDs foi efetuada medição e pesquisa em DC médio. A Figura 14 apresenta perfil de carga do site que contempla a instalação de um DC. A energia consumida pelos geradores é devida não só as interrupções relacionadas ao fornecimento da distribuidora, mas aquelas relativas as intervenções em manutenção preventivas programadas e periódicas, onde os indicadores da Qualidade da Energia Elétrica-QEE não são confiáveis no ponto de conexão da distribuidora.

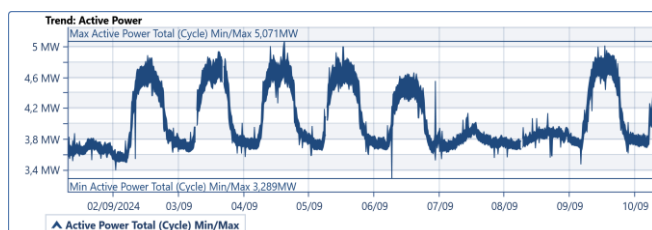


Figura 14– Perfil de carga de edificação com DC

A TABELA III indica os valores de consumo e demanda médios mensais fornecidos pela distribuidora e pelos GGDs. A “taxa de geração de energia” TGE é ora definida pela relação entre a geração de energia gerada pelos GGDs e a energia consumida da distribuidora. A TGE calculada foi de 1,14% nos levantamentos efetuados.

TABELA III–SÍNTESE DE CONSUMO E DEMANDA

Dados estratificados - Distribuidora e Geração	
consumo mensal por dia útil-distribuidora	2.191,20 MWh/mês
consumo total FS – distribuidora	734,40 MWh/mês
consumo total/ mês – distribuidora	2.925,60 MWh/mês
horas/mês	720
Demanda média distribuidora	4,1 MW
FC distribuidora	86%
Demanda Max distribuidora	4,7 MW
geração média/mês – GGD's	33.471 kWh/mês
taxa geração de energia – TGE	1,14%

VII - EXPECTATIVAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES E DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL APLICADOS EM DC.

- O potencial de redução de perdas os GGDs devidas à compensação do fator de potência da carga conforme a Figura 4 pode ser estimado em 4,5% com a variação do FU da carga de 40% para 70% (variação da eficiência de 89% para 93,5%). Com a compensação da energia reativa na carga de 80% para 95% a redução de perdas na carga será da ordem de: $(1 - (0,8/0,95)^2):29\%$ **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Utilizando-se a estimativa de perdas em instalações da mesma referência de 2% a

5%, pode-se assumir redução de perdas da ordem de 1% adicional (29%*3,5%); redução total de 5,5%.

- Em outra avaliação, baseada na Figura 6, que considera a função da variação do carregamento de 40% para 70% com fator de potência nominal de 0,8 a variação do FU de GGDs da máquina aplicada no exemplo de 1500 kVA o potencial de redução de 6,9% com uma variação de consumo de 0,29 l/kWh para 0,27/kWh.
- Para efeito de estimativas de redução de perdas, considera-se, portanto, valores da ordem de 5,5% a 6,9% de redução do consumo de energia/combustível. Dados do Ministério de Minas e Energia do Brasil-MME [1] indicam que a evolução da carga prevista para os Data Centers com grande crescimento previsto nos próximos anos, chegando a 9 GW até 2035. Os dados da TABELA III indicam operação de GMGs em situações de interrupção de energia pela distribuidora e rotinas de manutenção e testes com carga, não incorporando as rotinas aplicadas por alguns DC de operação de geradores em situação de previsão de mal tempo ou tempestades conforme relatos de operadores em situações de alarme de mau tempo de operação por GMGs de forma preventiva com as informações do instituto clima tempo [19]. Assumindo que:
 - As premissas de TGE de 1,14% sejam aplicáveis às instalações semelhantes (mesmo que os indicadores de QEE dependam da região, nível de tensão e outras variáveis).
 - Que as estimativas das demandas em DC estimadas de 2,5GW atuais até 9 GW nos próximos 10 anos [1]
 - Que a geração de energia de contingência seja efetuada com óleo diesel com FU dos GGDs de 85% semelhante ao caso avaliado;
 - Que o IPEA [20] indica que a emissão de CO₂ devido ao consumo de óleo diesel é da ordem de 3,2 kg por litro, e também em [21] os autores indicam valores de 1,27 kgCO₂/kWh, 3,15 kgCO₂/l e em [11] 3,50 kgCO₂/l e adotando-se por semelhança os indicadores do IPEA de 3,2 kg/l;
 - A Tabela IV sintetiza os resultados esperados de redução de emissões, considerando a demanda de 2,5 GW e 9GW estimada para DC nos próximos 10 anos e as técnicas de redução de consumo apresentadas e consolidadas.

Tabela IV – RESUMO DOS BENEFÍCIOS PREVISTOS

Variáveis	cenário 2025	cenário 2037
Demanda	2500 MW	9000 MW
Fator de Carga DC	0,85	0,85
Horas/Mês	730 h	730 h
Energia consumida	1.551.250 MWh/mês	5.584.500 MWh/mês
Energia Gerada (TGE 1,14%)	17.684 MWh/mês	63.663 MWh/mês
Consumo Oleo diesel/MWh (FU>50%)	274 l/MWh	274 l/MWh
Consumo Oleo diesel/mês	4.845.485 l/mês	17.443.744 l/mês
Economia prevista (5,5%)	266.502 l/mês	959.406 l/mês
Economia prevista (6,9%)	334.338 l/mês	1.203.618 l/mês
Emissões Evitadas 5,5%	852.807 TCO ₂ /mês	3.070.105 TCO ₂ /mês
Emissões Evitadas 6,9%	1.069.885 TCO ₂ /mês	3.851.586 TCO ₂ /mês

VIII. CONCLUSÕES:

Projetos de instalações de atendimento às cargas industriais e de missão crítica podem atender além das premissas de confiabilidade exigidas em instalações de DC, também aquelas relacionadas as melhores práticas de eficiência energética, redução de consumo de combustíveis e emissões. Tecnologias disponíveis e conhecidas agregam valor e confiabilidade às instalações, mantendo robustez apresentados na Tabela IV são expressivos e pelas expectativas apresentadas com fonte segura atingem redução de emissões da ordem de 3,8 Milhões de Toneladas CO₂ por mês em 2037. Foram apresentados casos vividos pelos autores em medições efetuadas em geradores nos assuntos tratados, embasados por

revisões bibliográficas com o objetivo de evidenciar a possibilidade de redução de emissões de CO₂, além de economia de combustível devido a operação mais sustentável dos GGD's com fatores de utilização acima de 50%.

REFERÊNCIAS:

- [1] <https://megawhat.energy/mercado-energetico/consumo/carga-para-data-centers-pode-chegar-a-9-gw-ate-2037-no-brasil/>
- [2] <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-identifica-crescimento-acelerado-na-demanda-de-energia-eletrica-para-projetos-de-data-centers#:~:text=Em%20maio%20deste%20ano%2C%20as,intervalo%20de%20apenas%20quatro%20meses.> (acesso em 14-02-2025)
- [3] https://www.joseclaudio.eng.br/geradores/Diesel_versus_gas.html
- [4] <https://www.petrobras.com.br/quem-somos/oleo-diesel>
- [5] B. Singh and R. Niwas, "Power quality improvements in diesel engine driven induction generator system using SRF theory," 2012 IEEE Fifth Power India Conference, Murthal, India, 2012,
- [6] Uptime Institute – classificação TIER. Disponível em <https://uptimeinstitute.com/tiers>, acesso em 14/04/2021
- [7] What is wet stacking? <https://www.wpowerproducts.com/news/diesel-engine-generator-wet-stacking/>– visita ao site em 03-09-2022
- [8] A close look at wet stacking - <https://www.csemag.com/articles/a-close-look-at-wet-stacking/> acesso em 03-09-2022
- [9] TIA 942 - TELECOMMUNICATIONS INFRASTRUCTURE STANDARD FOR DATA CENTERS
- [10] <https://portal.inmet.gov.br/>
- [11] Understanding ISO 8528-1 Generator Set Ratings -Power topic #6240 | Technical information from Cummins, Inc White Paper By Munir Kaderbhai, Sales Application Engineer
- [12] Cummins Power Generation - Manual de Aplicação - Grupos Geradores Arrefecidos a Água
- [13] Caterpillar – performance data (DM 7916) – February 18, 2013
- [14] Reactive power management in distributed generation - Danial Saleem, Deputy Manager NTDC Lahore, Rehan Majeed
- [15] T. Bantras, V. Čuk, J. F. G. Cobben and W. L. Kling, "Estimation and classification of power losses DUE to reduced Power Quality," 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting
- [16] WEG-catalogo geral motores: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR> – acesso 07-abril-2025
- [17] <https://acaoengenharia.com.br/>
- [18] <https://www.osetoreletrico.com.br/compensacao-reativa-em-cargas-dinamicas-alimentadas-por-grupos-geradores-em-baixa-tensao-a-quebra-do-paradigma/>- acesso em 15 fevereiro 2025
- [19] <https://www.climatempo.com.br/>
- [20] https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_1606.pdf
- [21] A. Q. Jakhrani, A. R. H. Rigit, A. -K. Othman, S. R. Samo and S. A. Kamboh, "Estimation of carbon footprints from diesel generator emissions," 2012 International Conference on Green and Ubiquitous Technology, Bandung, Indonesia, 2012, pp. 78-81,