



Received September 06, 2024; accepted December 18, 2024; Date of publication February 04, 2025.
The review of this paper was arranged by Associate Editor Roberto F. Coelho and Editor-in-Chief Heverton A. Pereira.

Digital Object Identifier <http://doi.org/10.18618/REP.e202514>

Contribuições ao Sistema de Gerenciamento de Potência em Plataformas FPSO através do Controle Coordenado de Conversores Multifuncionais

Felipe L. Paes^{1,2,*}, Lucas C. Souza^{1,3}, Augusto M. S. Alonso⁴,
Helmo K. M. Paredes¹, Flavio A. S. Goncalves¹, Luis De O. Arenas¹,
Fernando P. Marafao¹

¹Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus Sorocaba, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba – SP, Brasil.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Sorocaba – SP, Brasil.

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Jataí – GO, Brasil.

⁴Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, Brasil.

e-mail: felipe.paes@unesp.br*; carvalho.souza@unesp.br; augusto.alonso@usp.br; helmo.paredes@unesp.br; flavio.as.goncalves@unesp.br; luis.arenas@unesp.br; fernando.marafao@unesp.br.

*Corresponding author

RESUMO Este artigo propõe uma abordagem de controle coordenado utilizando conversores eletrônicos de velocidade variável (AFE-ASDs), para o gerenciamento avançado de potência em plataformas marítimas de petróleo, do tipo FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*). A metodologia de controle coordenado é fundamentada na Teoria de Potência Conservativa e visa mitigar a potência reativa, as distorções harmônicas e desbalanços, fazendo uso da disponibilidade de potência dos AFE-ASDs distribuídos. Simulações computacionais da abordagem proposta considerando o modelo real de sistema elétrico de uma FPSO demonstram uma redução de 10,16% na potência dos geradores a gás, em condições de estado estacionário. Durante a partida direta de motores, a coordenação dos AFE-ASDs também possibilitou que a variação de tensão diminuísse de 14,45% para 2,64%. Além disso, uma redução significativa na distorção harmônica foi alcançada pela mitigação de correntes de distorção, com o DHTi diminuindo de 5,42% para 1,39% e DHTv de 3,89% para 0,98%.

PALAVRAS-CHAVE Controle coordenado de potência, FPSO, Gerenciamento de potência, Inversores de frequência, Qualidade de energia.

Contributions to the Power Management System on FPSO Platforms through the Coordinated Control of Multifunctional Converters

ABSTRACT This paper proposes a coordinated control approach using Active Front End Adjustable Speed Drives (AFE-ASDs) for advanced power management in Floating Production, Storage, and Offloading (FPSO) oil platforms. The coordinated control methodology is formulated based on the Conservative Power Theory and aims to mitigate reactive power, harmonic distortion, and unbalance by leveraging the power availability of distributed AFE-ASDs. Computational simulations considering a FPSO power system model, derived from equipment data and operational reports, demonstrate a 10.16% power reduction in gas turbine generators under steady-state conditions upon the implementation of the proposed control approach. During direct motor startups, voltage deviation decreased from 14.45% to 2.64% due to the coordinated operation of the AFE-ASDs. Besides, a significant reduction in harmonic distortion was achieved, with THDi decreasing from 5.42% to 1.39% and THDv from 3.89% to 0.98%.

KEYWORDS Adjustable Speed Drives, Coordinated Control, FPSO, PMS, Power Quality.

I. INTRODUÇÃO

Através da aplicação de novas tecnologias e fontes menos poluentes, o setor de petróleo e gás tem se mostrado comprometido com a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e com o conceito de transição energética, com especial interesse na eletrificação e modernização dos sistemas elétricos de potência (SEP) de plataformas marítimas [1]. Tais plataformas operam como sistemas elétricos isolados, sob condições de alta demanda de energia [2], sendo alimentados por geradores elétricos movidos a turbinas a gás (GTGs), sendo estes os principais responsáveis

pelos emissões de GEE do setor de petróleo e gás (O&G) [3]. Os GTGs fornecem energia para o SEP das plataformas, o qual geralmente é supervisionado por um sistema centralizado de gerenciamento de potência (*Power Management System* - PMS) [4].

SEPs isolados apresentam particularidades, tal como geração de energia local e limitada, acarretando dificuldades de gerenciamento [4]. Por exemplo, eventos de conexão/desconexão de cargas de elevada potência podem deteriorar o perfil da tensão e frequência nos barramentos do SEP, podendo gerar instabilidades e até o colapso das tensões sob condições extremas de carregamento dos geradores [5],

[6]. Tais eventos são especialmente relevantes em SEPs que operam sob condições de partida direta de grandes motores, o que se encontra ainda em uso em muitas plataformas do tipo *Floating Production Storage and Offloading* (FPSOs) [3], [7]. Tal condição ocorre dado que a correção proveniente do controle dos geradores síncronos é tipicamente lenta [8].

Nesse cenário, a aplicação de conversores de velocidade variável (*Adjustable Speed Drives* - ASDs), com filtro passivo de entrada, tem sido uma das soluções mais aplicadas para o acionamento dos motores elétricos nas FPSOs. Porém, esses dispositivos contribuem com a geração de harmônicas de corrente que podem se propagar para as tensões nas plataformas [9], [10]. Assim, os principais problemas de qualidade de energia no SEP das plataformas são as variações de tensão e/ou frequência, o baixo fator de potência e a presença de componentes harmônicas de tensão/corrente em determinadas condições de operação [8]. Tais problemas impactam a eficiência operacional e representam desafios significativos para a confiabilidade e vida útil dos equipamentos conectados ao SEP da FPSO [11].

Por outro lado, considerando as principais tendências no contexto de transição energética e modernização do SEP de plataformas, vários estudos abordam a integração de fontes renováveis de energia [12], [13], [14], tecnologias de armazenamento de energia [15], [16], [17], aplicação de conversores eletrônicos para acionamento de cargas [9], [18] e até a integração do sistema elétrico entre plataformas, com a criação de hubs de energia [19], [20]. Dessa forma, observa-se a forte tendência de ampliação do uso de conversores eletrônicos de potência nas FPSOs. Tais dispositivos, além de desempenharem funções básicas em cada aplicação, também permitem a implementação de estratégias de controle que proveem serviços auxiliares, tornando-os multifuncionais a fim de participarem ativamente do gerenciamento de potência do SEP e na melhoria da qualidade de energia [5], [21].

Neste contexto, a aplicação de conversores com entrada ativa AFE-ASD (*Active Front End Adjustable Speed Drive*) para acionamento dos motores elétricos tem ganhado atenção, proporcionando benefícios que vão além da partida em rampa e o controle de velocidade e torque nas máquinas. Quando controlados de forma adequada, esses conversores podem contribuir ao condicionamento ativo do fluxo de potência e à melhoria da qualidade da energia nas FPSOs [18], [22]. Isso é possível, tanto do ponto de vista de controle local, nos respectivos pontos de conexão, como também do ponto de vista global do SEP [23], [24], através de técnicas de coordenação dos conversores distribuídos [25], [26].

Considerando aplicações em plataformas FPSO, algumas estratégias de controle coordenado têm sido propostas para a coordenação de conversores multifuncionais associados a diferentes aplicações, tal como o acionamento de motores, a integração de sistemas de armazenamento de energia ou o condicionamento de potência gerado em turbinas eólicas flutuantes [6]. Em [17], foi considerada a integração de uma turbina eólica ao sistema elétrico de uma FPSO, explorando o controle coordenado com um sistema de armazenamento de energia, a fim de fornecer suporte de potência reativa durante a partida direta dos motores instalados. Em [27] foi apresentada uma proposta de controle coordenado baseada

no método PBC (*Power-Based Control*), a qual atua no compartilhamento da parcela de potência reativa para suporte de tensão, com ajuste Volt/Var. Em [21] abordou-se o controle coordenado com compartilhamento de potência reativa e ajuste Volt/Var, em um cenário de integração de energia eólica na plataforma.

Observa-se que os trabalhos propostos se limitaram a estratégias de controle coordenado para o suporte de reativos, considerando sistemas balanceados e sem a presença de componentes harmônicas que podem surgir quando sistemas passivos de acionamento das máquinas são empregados. Adicionalmente, considerações sobre o empacotamento e transmissão dos dados, em cenários de controle coordenado centralizado, também não foram exploradas. Complementarmente, questões relativas à disponibilidade real de capacidade de potência dos conversores, visando a provisão de funções auxiliares, são evidenciadas como lacunas no contexto de aplicações em plataformas FPSO.

Diante do exposto, este trabalho propõe uma estratégia de controle coordenado centralizado, integrado ao sistema de gerenciamento de potência (PMS) da plataforma FPSO, fundamentando-se no compartilhamento de parcelas de corrente entre AFE-ASDs multifuncionais. A partir da potência aparente disponível nos AFE-ASDs, a metodologia proposta permite compensar, além da potência reativa balanceada, a distorção harmônica de corrente e o desbalanceamento de potência reativa no sistema. Para isso, as definições da Teoria de Potência Conservativa (*Conservative Power Theory*, CPT) [28] foram empregadas de forma a garantir a ortogonalidade (física e matemática) entre as parcelas de corrente calculadas e controladas, viabilizando ainda seletividade operacional e coordenação [24]. Adicionalmente, a estratégia proposta permite priorizar a compensação dessas componentes em função da potência aparente disponível (sobressalente) em cada AFE-ASD, levando também em consideração diferentes cenários operacionais da plataforma FPSO.

II. PROPOSTA DE CONTROLE COORDENADO PARA O GERENCIAMENTO DE POTÊNCIA EM FPSOs

Tomam-se duas considerações iniciais importantes para a proposta de controle proposta: *i*) a arquitetura de gerenciamento do SEP da plataforma FPSO sendo tipicamente centralizada [27]; e *ii*) a disponibilidade de infraestrutura de comunicação entre dispositivos, baseando-se na norma IEC-61850, com canais de comunicação integrados através de fibra óptica. Consequentemente, pode-se caracterizar que a estratégia de gerenciamento proposta se baseia em uma topologia de controle coordenado centralizado. A Fig. 1 apresenta o sistema elétrico típico de uma FPSO, com PMS e infraestrutura de comunicação considerados, tendo o controle coordenado proposto como função adicional sendo integrada ao PMS.

Assim, a metodologia proposta tem como principal objetivo a atuação dos conversores de forma coordenada, para a compensação da potência reativa, para a redução do conteúdo harmônico nas correntes e para a correção do desbalanço de potência reativa no ponto de conexão dos GTGs.

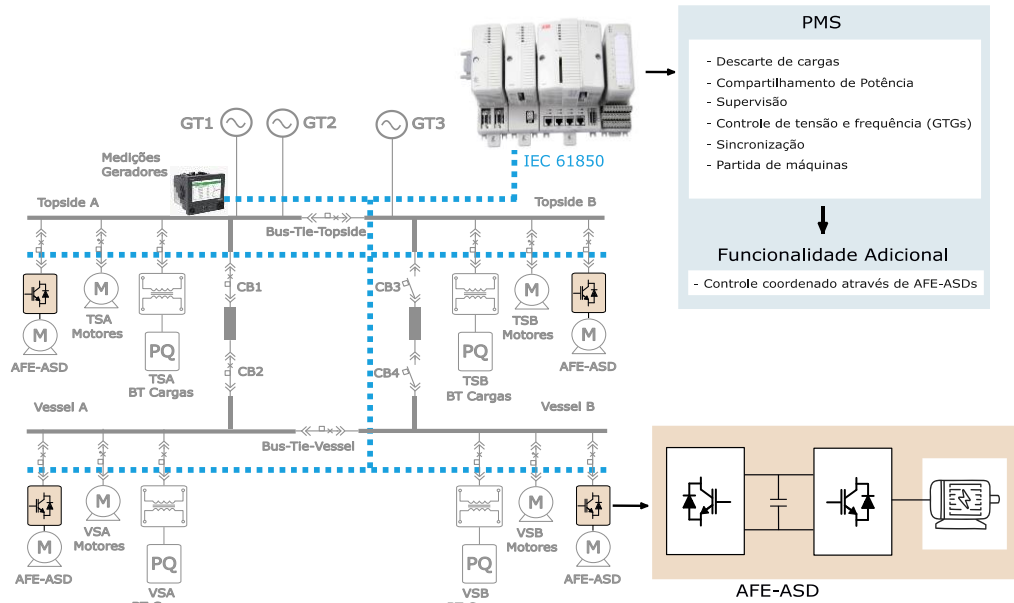


FIGURA 1. Sistema elétrico de uma FPSO integrado ao PMS e controle coordenado proposto como funcionalidade adicional.

A metodologia baseia-se no compartilhamento de parcelas de correntes de compensação entre os AFE-ASDs, através do uso da CPT para a obtenção das parcelas de corrente de interesse.

A Fig. 2 ilustra a metodologia de controle coordenado proposta, sendo que cada uma de suas etapas são detalhadas a seguir nas subseções II-A – II-G. De modo geral, observa-se que o SEP da FPSO é dividido em três grupos principais de dispositivos: o grupo de geradores a gás, responsável pelo fornecimento de energia; o grupo de cargas não controláveis, que opera independentemente da gestão de compensação e injeção de potência; e o grupo dos AFE-ASDs, diferenciados por sua capacidade multifuncional.

A. SINAIS AMOSTRADOS

A metodologia proposta utiliza a Transformada Discreta de Fourier (TDF) para empacotar os sinais amostrados $x[n]$, a cada período $T = 1/f_{grid}$, respeitando uma janela de N amostras para atualização das referências de compensação $x^*[n + N]$, sendo N definida pela relação entre a frequência fundamental da rede e a frequência de amostragem. O cálculo da corrente total da carga, representada pelo vetor trifásico $\mathbf{i}^l = [i_a^l, i_b^l, i_c^l]$, resulta da Lei de Correntes de Kirchhoff no Ponto de Acoplamento Comum (PAC), expressa em (1).

$$\mathbf{i}^l[n] = \mathbf{i}^{GTGt}[n] + \mathbf{i}^{ASDt}[n] \quad (1)$$

$$\mathbf{i}^{GTGt}[n] = \sum_{j=1}^M \mathbf{i}^{GTGj}[n] \quad (2)$$

$$\mathbf{i}^{ASDt}[n] = \sum_{j=1}^K \mathbf{i}^{ASDj}[n] \quad (3)$$

sendo \mathbf{i}^{GTGt} e \mathbf{i}^{ASDt} os vetores trifásicos das correntes fornecidas pelos GTGs \mathbf{i}^{GTGj} e pelos AFE-ASDs, descritas em (2) e (3), respectivamente. M e K definem o número de GTGs e AFE-ASDs instalados na plataforma, respectivamente. A corrente \mathbf{i}^{ASDt} refere-se às parcelas de

corrente manipuladas pelos AFE-ASDs, relacionadas tanto ao consumo dos motores quanto às parcelas de compensação.

B. DEFINIÇÕES DA TEORIA DE POTÊNCIA CONSERVATIVA

A CPT é empregada no domínio do tempo e permite caracterizar o comportamento de sistemas elétricos polifásicos, especialmente sob condições não ideais de tensão e corrente, i.e., em cenários com cargas desbalanceadas e/ou não lineares e sob tensões deterioradas [28]. Pela CPT, a Potência Aparente (A) trifásica pode ser decomposta nas parcelas de Potência Ativa (P), Potência Reativa (Q), Potência de Distorção (D) e nas Potências Ativa e Reativa de Desbalanço, U_a e U_r , conforme indicado em (4).

$$A = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2 + U_a^2 + U_r^2} \quad (4)$$

Para isso, as correntes trifásicas são decompostas em componentes ortogonais que representam os diferentes fenômenos físicos envolvidos no funcionamento dos circuitos elétricos, sejam eles relacionados à transferência de energia útil (ativa), trocas de energia/potência reativa ou não lineares e desbalanços, como em (5).

$$\mathbf{i} = \mathbf{i}_a^b + \mathbf{i}_r^b + \mathbf{i}_a^u + \mathbf{i}_r^u + \mathbf{i}_v \quad (5)$$

sendo, \mathbf{i}_a^b corrente ativa balanceada, \mathbf{i}_r^b a corrente reativa balanceada, \mathbf{i}_a^u e \mathbf{i}_r^u as correntes de desbalanço ativa e reativa, respectivamente, e \mathbf{i}_v representa a corrente de distorção (não linearidades).

Através dessa decomposição torna-se possível escolher a(s) parcela(s) de corrente a ser(em) compensada(s), permitindo a implementação de estratégias de seletividade. Ainda, considerando-se que os dispositivos distribuídos são ASDs, sem capacidade de injeção de potência ativa, a estratégia limita-se à compensação das parcelas de corrente reativa balanceada, reativa de desbalanço e de distorção.

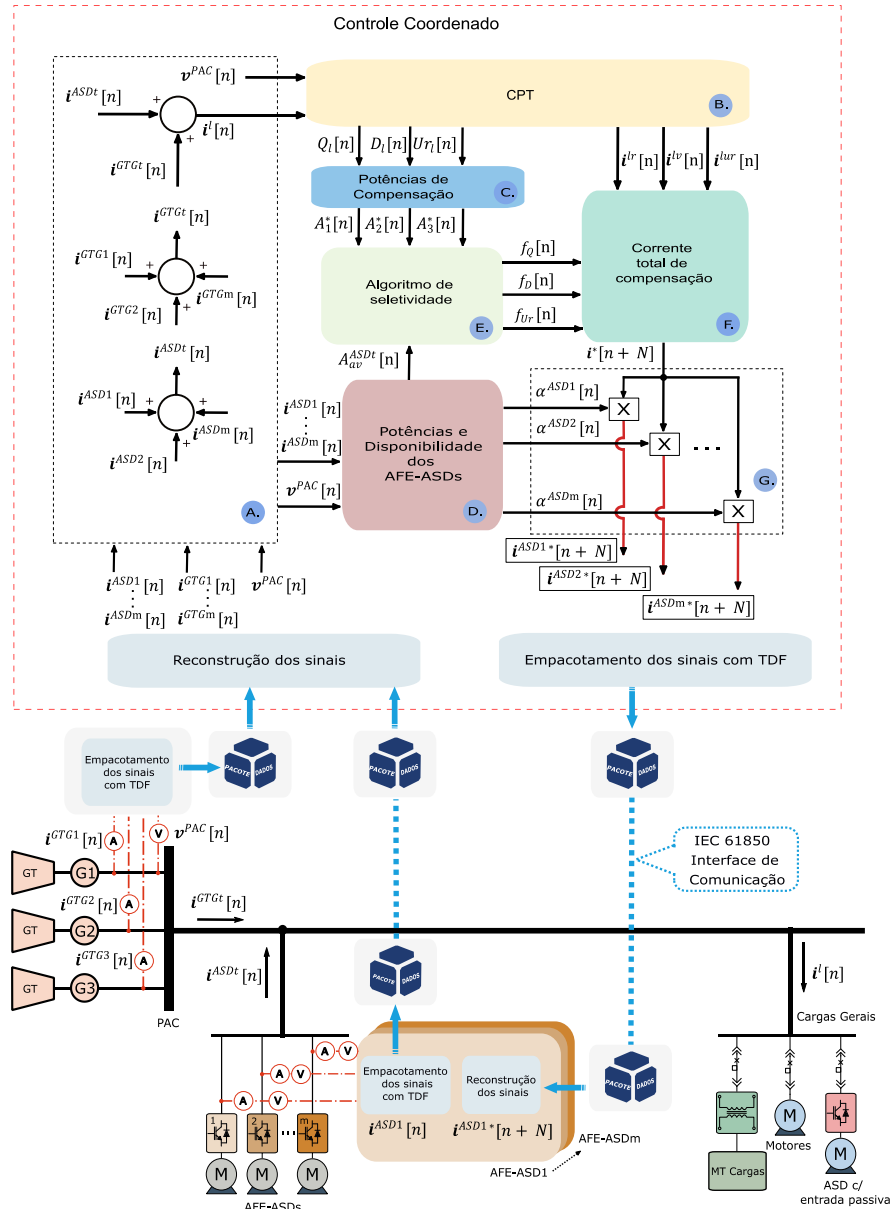


FIGURA 2. Metodologia de controle coordenado proposta.

C. REFERÊNCIAS DE POTÊNCIA DE COMPENSAÇÃO

As componentes de potência não ativas são determinadas pela CPT, conforme (4), utilizando como entradas os vetores trifásicos da corrente de carga $i^l[n]$ e da tensão no barramento comum $v^{PAC}[n]$. Assim, a metodologia contempla o cálculo de três cenários distintos de compensação, definidos em (6), (7) e (8)

$$A_1^*[n] = \sqrt{Q_i[n]^2 + D_i[n]^2 + U_{r_i}[n]^2} \quad (6)$$

$$A_2^*[n] = \sqrt{Q_i[n]^2 + D_i[n]^2} \quad (7)$$

$$A_3^*[n] = \sqrt{Q_i[n]^2} \quad (8)$$

Em (6) considera-se a potência não ativa total no PAC, incluindo as componentes de potências Q , D e U_r . Em (7) e (8) consideram-se cenários de compensação parcial, em função da disponibilidade de potência dos conversores. Assim, as parcelas de compensação A_1^* , A_2^* e A_3^* são

escolhidas pelo algoritmo de seletividade discutido na subseção E e detalhado na Fig. 3.

D. COEFICIENTE DE DISPONIBILIDADE DOS AFE-ASDs

O controle coordenado proposto fundamenta-se no aproveitamento da disponibilidade dos AFE-ASDs para execução de serviços ancilares. Nesse contexto, calcula-se a potência de disponibilidade de cada conversor pela diferença entre a potência em operação e a potência nominal de cada equipamento, conforme (9).

$$A_{av}^{ASDj}[n] = A_{nom}^{ASDj} - A_{act}^{ASDj}[n] \quad (9)$$

A equação (10) define a capacidade total de potência de compensação dos ASDs, calculada como a soma das potências de disponibilidade individuais (j) de potência aparente de cada ASD.

$$A_{av}^{ASDt}[n] = \sum_{j=1}^K A_{av}^{ASDj}[n] \quad (10)$$

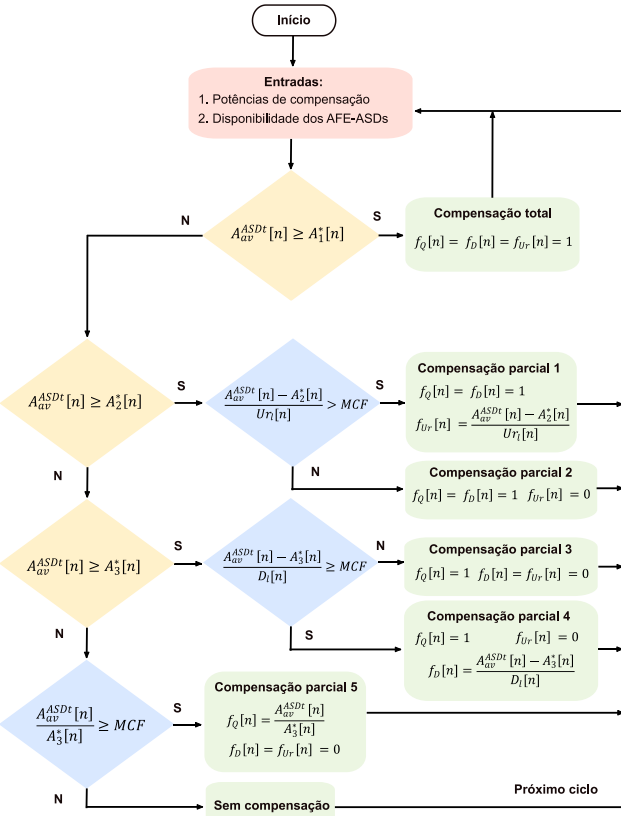


FIGURA 3. Algoritmo de seletividade proposto.

Por fim, calcula-se então por (11) o coeficiente de disponibilidade individual de cada AFE-ASD, dado pela relação entre a disponibilidade A_{av}^{ASDj} e a capacidade total de potência de compensação dos ASDs A_{av}^{ASDt} .

$$\alpha^{ASDj}[n] = \frac{A_{av}^{ASDj}[n]}{A_{av}^{ASDt}[n]} \quad (11)$$

A disponibilidade de potência dos conversores pode ocorrer em função de possibilidades como: sobredimensionamento dos conversores; ativação da função de by-pass existente nos conversores, o que permite a conexão direta da carga ao sistema elétrico, disponibilizando 100% da capacidade do conversor; redução da demanda energética na carga ou utilização de AFE-ASDs redundantes [29].

E. ALGORITMO DE SELETIVIDADE

O algoritmo de seletividade proposto está detalhado na Fig. 3 e tem como requisito selecionar quais parcelas de potência serão compensadas e qual será o percentual de compensação aplicado. O algoritmo desenvolvido baseia-se na verificação da disponibilidade de potência aparente, expressa em (11), com relação aos cenários demonstrados em (6), (7) e (8). Ao final de cada ciclo rastreado pelo algoritmo, são calculados os coeficientes que podem variar de 0 a 1: f_Q (reativo), f_D (distorção) e f_{Ur} (desbalanço reativo). Esses coeficientes fazem parte da estratégia que determina quais componentes serão compensadas e em que proporção. Neste contexto, definiu-se o chamado Fator de Contribuição Mínima (MCF), como parâmetro responsável por ajustar o percentual mínimo das parcelas de compensação aplicáveis no algoritmo de

seletividade. É escopo para publicações futuras o estudo relacionado à definição de percentual otimizado para cada parcela de potência do algoritmo de seletividade.

F. CORRENTE TOTAL DE COMPENSAÇÃO

Conforme demonstrado em (5), a metodologia utiliza as componentes ortogonais da corrente de carga como referência de compensação. Dessa forma são obtidas as correntes: reativa i^{lr} , de distorção i^{lv} e reativa de desbalanço i^{lur} . Assim, a referência plena de compensação i^* pode ser demonstrada em (12), garantindo a compensação da parcela de potência aparente descrita em (6).

$$i^*[n + N] = i^{lr}[n] + i^{lv}[n] + i^{lur}[n] \quad (12)$$

A corrente de compensação total i^* é obtida em (13), a partir de (12), incluindo os coeficientes do algoritmo de seletividade f_Q , f_D e f_{Ur} , o que garante a inclusão das limitações de disponibilidade dos AFE-ASDs integrados ao controle coordenado.

$$i^*[n + N] = i^r[n] \cdot f_Q[n] + i^v[n] \cdot f_D[n] + i^{ur}[n] \cdot f_{Ur}[n] \quad (13)$$

Finalmente, a referência de compensação para cada ASD é estabelecida em (14), como o produto da corrente de compensação total i^* e do coeficiente de disponibilidade individual de cada AFE-ASD α^{ASDj} .

$$i^{ASDj^*}[n + N] = i^*[n + N] \times \alpha^{ASDj}[n] \quad (14)$$

G. COMUNICAÇÃO E EMPACOTAMENTO DE DADOS

A infraestrutura de comunicação utilizada nos atuais PMS de plataformas FPSO estão baseados na norma IEC 61850, incluindo a arquitetura de barramento de processo. Esta rede Ethernet de alta velocidade opera em taxas que variam de 100 Mbps a 1 Gbps, substituindo as conexões físicas tradicionais entre medidores de tensão e corrente e equipamentos de controle e proteção. Sua principal função é transmitir digitalmente valores amostrados de corrente e tensão das unidades de medição para os diversos dispositivos no sistema elétrico [33],[30].

Considerando tal infraestrutura, é viável propor metodologias que empreguem altas taxas de amostragem e transferência de dados. Entretanto, conforme ilustrado na Fig. 2, a metodologia proposta enfatiza o empacotamento e desempacotamento de sinais utilizando a TDF, com detecção de valores de pico, conforme aplicado em [26]. Dessa forma, não há necessidade de operar no limite da capacidade da infraestrutura de comunicação. No controlador central do PMS, os sinais de corrente dos GTGs e AFE-ASDs são aquisitados e organizados em um vetor de dados contendo os valores de pico, em fase e em quadratura, das componentes fundamental e outras ordens harmônicas que se deseje controlar, os quais são compartilhados uma vez por ciclo do controle coordenado, e posteriormente utilizados para reconstruir os sinais de corrente no domínio do tempo.

Com os sinais reconstruídos no tempo, é possível processar a estratégia de compensação baseada na CPT, de

acordo com (1)-(14). Portanto, torna-se possível implementar o seguinte sequenciamento de operações para a estratégia de controle proposta: i) obter as parcelas de compensação reativa, de distorção e reativa de desbalanço; ii) aplicar o algoritmo de seletividade; iii) distribuir a compensação entre os AFE-ASDs, conforme o coeficiente de disponibilidade individual; e, finalmente, iv) compartilhar as referências de compensação. Estudos relacionados à possíveis falhas de comunicação, como atrasos e perdas de pacotes, serão realizados e apresentados futuramente.

III. SIMULAÇÕES E RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Para validação da estratégia de controle coordenado, proposto como funcionalidade adicional no PMS de uma plataforma FPSO, desenvolveu-se um modelo discreto para simulação em Matlab/Simulink, empregando-se os pacotes Artemis da RT-LAB e uma frequência de amostragem de 12 kHz.

Considerando a topologia da Fig. 2, cada um dos componentes/dispositivos foi modelado de acordo com dados reais e específicos de equipamentos típicos de uma indústria de O&G. Os GTGs foram modelados usando modelos de 8ª ordem [31], [32], incorporando controle integrado de tensão e frequência, bem como controle *droop* secundário [33]. Os motores de indução de média tensão, foram baseados no modelo LUT (*Look-Up Table*) [34]. Os transformadores foram modelados empregando-se a abordagem de circuito equivalente IEEE [35]. As cargas de baixa tensão foram caracterizadas por suas impedâncias equivalentes, sendo, os cabos representados pela associação em série de resistências e indutâncias, equivalentes às de um SEP típico de FPSO [36].

Na Tabela 1 constam os parâmetros básicos do sistema elétrico modelado e na Tabela 2 são indicados os cenários analisados: cenário 1 - análise em regime permanente com ênfase na compensação de reativos; cenário 2 - análise de um evento de partida direta de um motor de 11 MVA; cenário 3 - análise em regime permanente com a presença de distorção harmônica de corrente; e cenário 4 - análise em regime permanente com a presença de desbalanço reativo. Em cada caso os resultados foram avaliados sob duas perspectivas: *A* - sem uso de controle coordenado (CC), e *B* - com o uso do controle coordenado proposto.

Os AFE-ASDs foram modelados como fontes de corrente, incorporando limitações de potência e corrente, conforme valores nominais de equipamentos típicos e possíveis percentuais de disponibilidade (Tabela 3).

Os resultados das simulações computacionais levam em conta a aplicação do empacotamento e desempacotamento dos sinais por meio da TDF, com as referências de compensação sendo atualizadas a cada período da frequência fundamental da rede ($T = 16,667 \text{ ms}$).

TABELA 1. Parâmetros do Sistema Elétrico do Estudo de Caso.

Modo de Operação	Production / Offloading
GTG1	36,25 MVA
GTG2	36,25 MVA
GTG3	36,25 MVA
Tensão Nominal	11 kV
Frequência Nominal	60 Hz
Seccionador - Bus-tie (Topside) - Vide Fig. 1	Fechado
Seccionador - Bus link A - (CB1 e CB2) - Vide Fig. 1	Aberto
Seccionador - Bus link B - (CB3 e CB4) - Vide Fig. 1	Fechado
Seccionador - Bus-tie (Vessel) - Vide Fig. 1	Fechado

TABELA 2. Cenários de Análise.

Cenários	Operação em Regime	Partida direta de Motor	Distorção Harmônica de corrente	Descarte de Carga	Desbalanço Reativo	Controle Coordenado
1A	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
1B						Sim
2A	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
2B						Sim
3A	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não
3B						Sim
4A	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não
4B						Sim

TABELA 3. Disponibilidade dos AFE-ASDs.

Cargas	Barramento	Potência Nominal dos AFE-ASDs	Disponibilidade dos AFE-ASDs
CO2 Compressor	Topside A	12,0 MVA	100%
LP Gas Compressor	Topside B	12,0 MVA	100%
CO2 Compressor	Topside B	12,0 MVA	50%
LP Gas Compressor	Topside A	12,0 MVA	50%
Cargo HPU Motor 1	Vessel A	1,0 MVA	100%
Cargo HPU Motor 4	Vessel B	1,0 MVA	100%

A. CENÁRIOS 1A E 1B

Neste caso, o objetivo foi analisar a contribuição do controle coordenado no suporte de reativos, em regime permanente, considerando-se a FPSO no modo de operação *Production / Offloading* [37]. A Tabela 4 apresenta um compilado de resultados sob a perspectiva dos GTGs, evidenciando a diferença na potência aparente para os casos sem (76,74 MVA) e com (68,07 MVA) o controle coordenado. Este resultado indica uma redução de 11,29% na potência aparente dos GTGs, através do suporte de reativos por meio de AFE-ASDs distribuídos, o que poderia permitir a conexão de equipamentos adicionais de processo, sem a necessidade de investimentos adicionais em geração de energia. Ademais, para cenários operacionais nos quais o carregamento dos GTGs se aproxime dos valores nominais, o suporte de reativos por meio dos AFE-ASDs pode reduzir a vulnerabilidade do sistema elétrico a eventos extremos, tais como colapsos de tensão.

Ainda sobre este cenário, a Tabela 5 indica uma pequena redução nas perdas, resultante da diminuição das correntes de

campo nos GTGs (Tabela 4). Além disso, a Tabela 5 também indica que o suporte de reativos não tem impacto significativo nas emissões de CO₂, uma vez que estas estão associadas ao consumo de combustível das turbinas para fornecimento da potência mecânica diretamente associada a potência ativa do SEP.

No cenário 1B, os comportamentos da tensão e corrente instantâneas dos AFE-ASDs são apresentados nas Figs. 4 e 5. A Fig. 4 refere-se ao AFE-ASD com potência nominal de 12 MVA e 100% de disponibilidade para serviços ancilares associados ao controle coordenado. Já a Fig. 5 também mostra um AFE-ASD de 12 MVA, porém com 50% de disponibilidade para esses serviços.

TABELA 4. Resultados em Regime dos GTGs (Cenários 1A e 1B).

Grandeza	Cenários					
	1A – sem CC			1B – com CC		
	GTG1	GTG2	GTG3	GTG1	GTG2	GTG3
Tensão [kV]	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
Corrente [kA]	1,37	1,37	1,28	1,20	1,20	1,18
Frequência [Hz]	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Corrente de Campo [kA]	0,50	0,50	0,48	0,38	0,38	0,38
Potência Ativa [kW]	23,10	23,10	21,86	22,77	22,78	22,52
Potência Reativa [kVar]	12,33	12,33	10,78	0,22	0,23	0,04
Potência Aparente [kVA]	26,18	26,18	24,38	22,77	22,78	22,52
Fator de Potência	0,88	0,88	0,90	1,00	1,00	1,00

TABELA 5. Perdas Elétricas e Emissões de CO₂ (Cenários 1A e 1B).

Grandezas	Cenários	
	1A – sem CC	1B – com CC
Perda Total [MW]	0,34	0,32
Emissão de CO ₂ [kg/s]	12,96	12,96

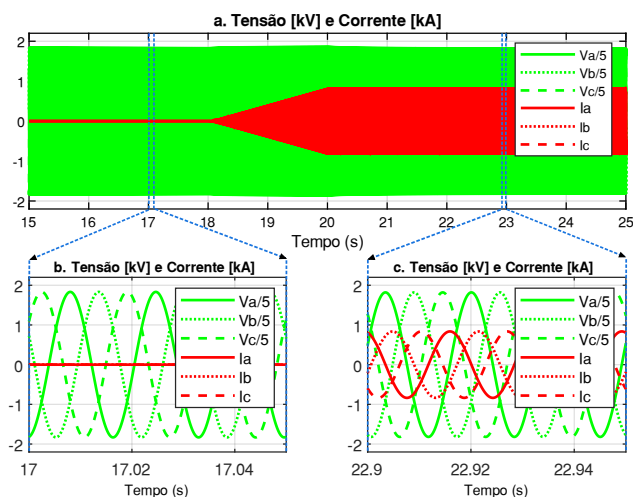


Figura 4. Tensão e corrente instantânea no AFE-ASD com disponibilidade 100% para o cenário 1B.

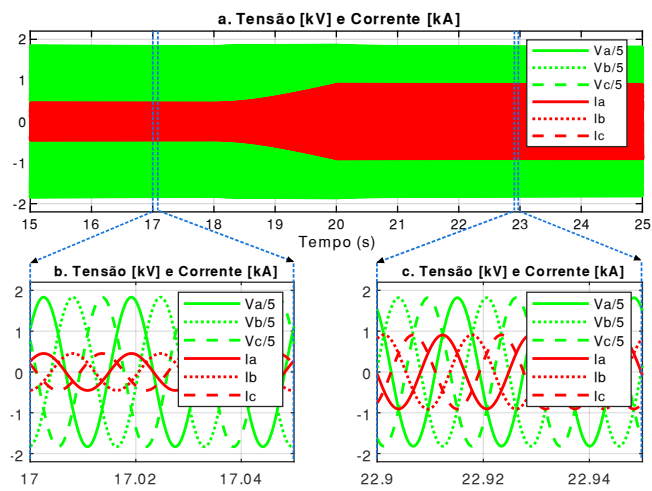


Figura 5. Tensão e corrente instantânea no AFE-ASD com disponibilidade 50% para o cenário 1B.

Na Fig. 4 observa-se que até o instante 18 s as correntes permanecem nulas, pois o AFE-ASD está com 100% de disponibilidade para operação no controle coordenado. A partir desse ponto, inicia-se uma rampa de compensação de potência reativa até o limite de compensação. Nota-se que as correntes sintetizadas por fase estão adiantadas em relação aos sinais de tensão correspondentes, caracterizando a compensação de potência reativa.

Na Fig. 5 observa-se que as correntes estão em fase com as tensões antes do instante de 18 s, evidenciando a potência ativa consumida pela carga. Após tal intervalo, ocorre um aumento gradual nas amplitudes das correntes, caracterizando o início da compensação reativa através do controle coordenado. As correntes, inicialmente em fase com as tensões, passam a apresentar avanço, indicando a compensação simultânea de potência reativa.

B. CENÁRIOS 2A E 2B

Nos cenários 2A e 2B avalia-se a contribuição do controle coordenado durante a partida direta de uma máquina com aproximadamente 11 MVA. O comportamento das grandezas de tensão e corrente eficaz, frequência e potências do GTG1 são apresentados nas Figs. 6 e 7, para simulações sem e com CC, respectivamente. Além da redução da variação de tensão observada entre os casos, nota-se também a diferença nas potências demandadas do GTG1 durante a partida, pois o controle coordenado através do AFE-ASDs contribui com o suporte da potência reativa.

A Tabela 6 apresenta um comparativo, com valores máximos e mínimos de tensão e corrente observados para os casos com e sem CC. Nota-se a diferença da variação de tensão de 14,45 % sem CC para 2,64 % com CC.

TABELA 6. Variação de Tensão nas Simulações – Cenário 2.

Controle Coordenado	Tensão (Max.)	Tensão (Min.)	Variação (+)	Variação (-)
Não	11,67 kV	9,41 kV	6,00 %	14,45 %
Sim	11,66 kV	10,71 kV	6,00 %	2,64 %

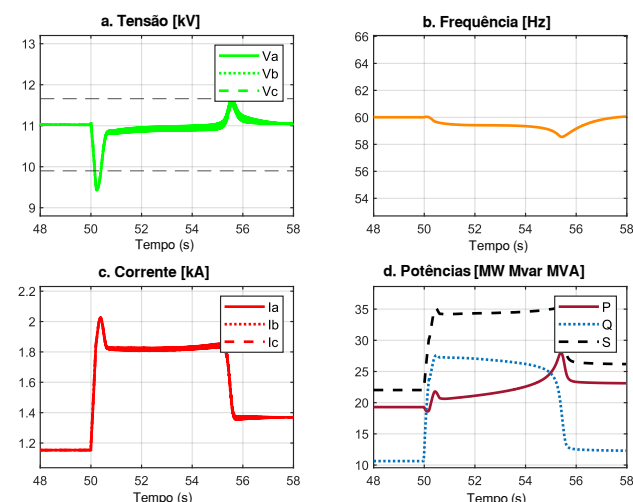


Figura 6. Tensão eficaz, corrente eficaz, frequência e potências no GTG1 para o cenário 2A.

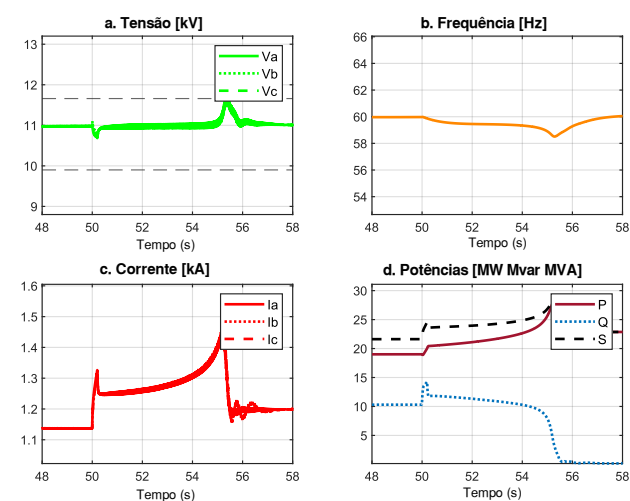


Figura 7. Tensão eficaz, corrente eficaz, frequência e potências no GTG1 para o cenário 2B.

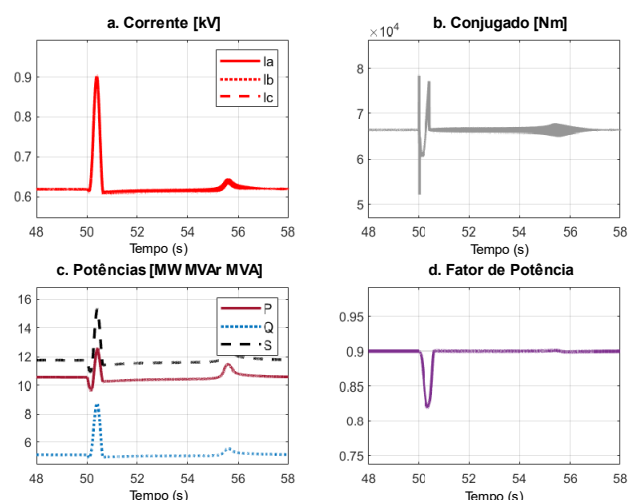


Figura 8. Corrente eficaz, torque eletromagnético, potências e fator de potência do motor 771-DREM-0901 para o cenário 2A.

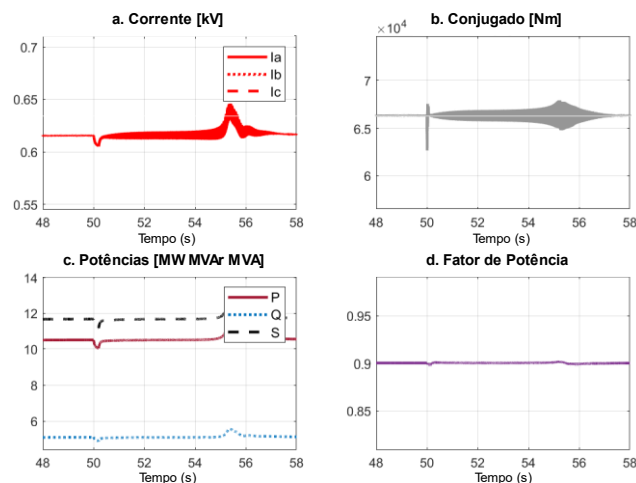


Figura 9. Corrente eficaz, torque eletromagnético, potências e fator de potência do motor 771-DREM-0901 para o cenário 2B.

Devido à rápida velocidade de resposta no suporte de reativo através dos AFE-ASDs, é possível reduzir a variação de tensão no PAC e, conseqüentemente, mitigar o efeito de perturbação em cascata que os outros motores poderiam sofrer, o que poderia proporcionar mais oscilações no sistema elétrico. A Fig. 8 apresenta o comportamento das grandezas de corrente eficaz, conjugado, potências e fator de potência de um motor que estava operando em regime, no evento de partida analisado, sem o controle coordenado. Enquanto a Fig. 9 apresenta as mesmas variáveis para o caso com o controle coordenado.

Na Fig. 8, observa-se que a oscilação de tensão gerada no ponto de conexão ocasiona perturbação durante o evento transitório nas grandezas monitoradas: oscilação no conjugado desenvolvido pelo motor; aumento em aproximadamente 50 % da corrente elétrica, redução do fator de potência de aproximadamente 8 %; e aumento nas parcelas de potência ativa e reativa, em torno de 15 % e 50 %, respectivamente. Na Fig. 9, para o caso com controle coordenado ativo, observa-se que as variações são menores que 5% nas grandezas supracitadas. Desse modo é possível ponderar que o suporte de reativo através do controle coordenado implementado pode contribuir para mitigação do efeito em cascata no que tange a solicitação de maior demanda de potência ocasionado pela perturbação no sistema elétrico

C. CENÁRIOS 3A E 3B

Nos cenários 3A e 3B, avalia-se a contribuição do controle coordenado proposto na mitigação da distorção harmônica de corrente. A Tabela 7 apresenta os valores de distorção harmônica total de tensão e corrente nos GTGs. A Distorção Harmônica Total de Corrente (DHT_i) reduz de 5,42 % para 1,39 %, e, conseqüentemente, a Distorção Harmônica Total de Tensão (DHT_v) foi reduzida de 3,89% para 0,98%. Na Fig. 10 ilustra-se a tensão e corrente instantânea do GTG1, sendo que no instante 30,015s é possível observar o início da compensação de distorção harmônica realizado pelo controle coordenado.

D. CENÁRIOS 4A E 4B

Nos cenários 4A e 4B, avalia-se a contribuição do controle coordenado em situações de desbalanceo. Inicialmente, no instante de simulação de 35 s, uma carga bifásica de

aproximadamente 4 MVA é acoplada nas fases A e B, e a compensação de potência de desbalanço, por meio do controle coordenado, é ativada de forma gradual no instante de simulação de 40 s. Em 42 s, a compensação de desbalanço já está plena, de modo que as correntes nos GTGs apresentam os mesmos valores eficazes.

A Fig. 11 apresenta o comportamento da tensão e corrente eficaz, bem como a frequência e a corrente de campo do GTG1. Nessa figura, é possível observar que, no instante em que a carga foi acoplada, as correntes das fases A e B no GTG são alteradas, com o valor eficaz da fase A aumentando e o da fase B diminuindo. Entretanto, a partir do momento em que o controle coordenado é ativado para a compensação gradual do desbalanço, os valores das correntes se aproximam e se tornam iguais ao da fase C, a partir de 42s da simulação. Em relação à tensão, observa-se uma pequena variação no valor eficaz, aproximadamente 20 V, dentro dos limites normativos. Quanto à corrente de campo do GTG, observa-se que ela responde ao comportamento da carga e retorna aos valores iniciais após a compensação do desbalanço.

TABELA 7. Distorção de Tensão e Corrente – Cenário 3.

Grandeza	Cenário 3					
	3A - Sem CC			3B - Com CC		
	GTG1	GTG2	GTG3	GTG1	GTG2	GTG3
DHTv [%]	3,89	3,89	3,89	0,98	0,98	0,98
DHTi [%]	5,42	5,42	5,42	1,39	1,39	1,39

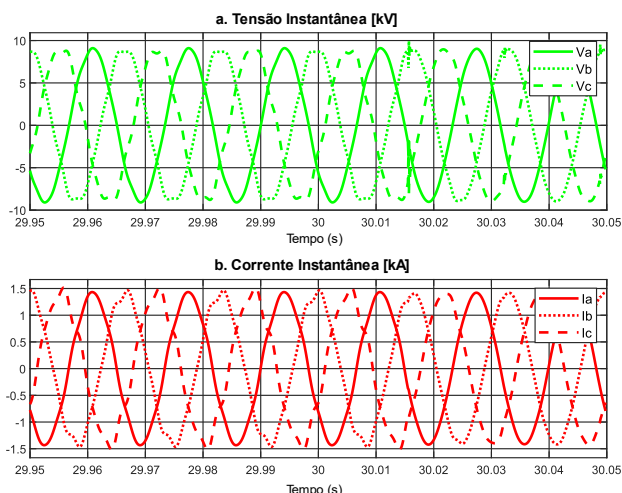


Figura 10. Tensões e correntes instantâneas no GTG1 para os cenários 3A (até 30,015 s) e 3B (a partir de 30,015 s).

I. CONCLUSÕES

A metodologia proposta baseia-se em duas premissas básicas: a disponibilidade de potência de conversores eletrônicos distribuídos em plataformas de O&G; e que a tensão é comum entre os equipamentos participantes da estratégia de controle coordenado. Assim, a aplicação da Teoria de Potência Conservativa foi utilizada para gerar referências de compensação por meio das componentes ortogonais de corrente, permitindo a compensação seletiva de reativos, desequilíbrios e distorções, que são mitigadas em função da disponibilidade individual de cada conversor e através de uma estratégia de controle coordenado centralizada.

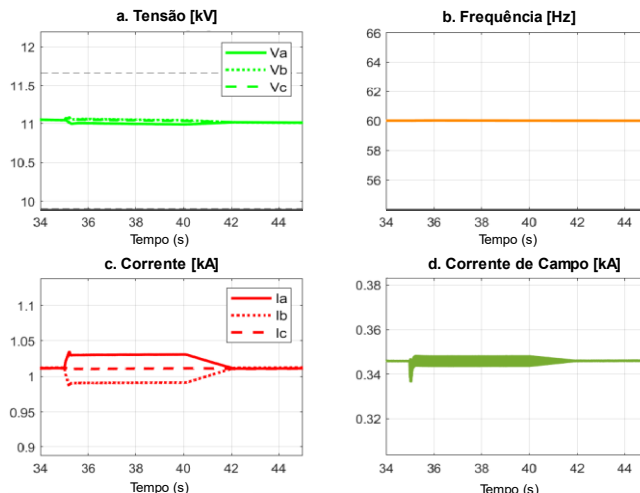


Figura 11. Tensões e correntes instantâneas no GTG1 para os cenários 4A (até 40,015 s) e 4B (a partir de 40,015 s).

Com base nas discussões e resultados apresentados foi possível demonstrar a viabilidade da metodologia, proposta como funcionalidade adicional ao PMS de plataformas FPSO. A abordagem proposta para a aquisição de sinais de tensão e corrente, o empacotamento de dados usando a TDF, o processamento centralizado das estratégias de controle e o compartilhamento de referências de corrente por ciclo de rede permitem a integração com a infraestrutura atualmente em uso nos sistemas de gerenciamento de potência de plataformas offshore.

Os resultados obtidos nos cenários de simulação 1A e 1B indicam que, em regime permanente, o compartilhamento de reativos por meio do controle coordenado resultou em uma redução de 11,29% na potência aparente demandada pelos GTGs. Essa condição sugere a possibilidade de reduzir o dimensionamento de potência dos GTGs ou adicionar novas cargas elétricas, sendo uma alternativa para aumentar a capacidade produtiva da plataforma.

Para eventos de aumento de carga, especialmente na partida de motores elétricos (casos 2A e 2B), observa-se que a aplicação do controle coordenado contribui de forma significativa para redução de variação de tensão no sistema elétrico, reduzindo de 14,45 % para 2,64%. Ainda neste contexto, pode-se observar que a redução da variação de tensão tem como efeito a redução de demanda instantânea de potência no sistema elétrico, pois reduz o efeito de perturbação em cascata gerado pelos motores na presença da variação de tensão.

Com base nos resultados dos cenários 3A e 3B, observamos a eficácia da compensação da distorção harmônica de corrente por meio do controle coordenado proposto, reduzindo o *DHTi* de 5,42% para 1,39% e, como resultado, diminuindo o *DHTv* de 3,89% para 0,98%. Por sua vez, os resultados obtidos nos cenários 4A e 4B demonstram a eficácia do controle coordenado na compensação do desbalanço reativo.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi realizada com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPQ) - Processo 317175/2023-8 e da Fundação de

Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), sob a concessão 2022/15423-3.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

F. L. PAES: Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Desenvolvimento, implementação e teste de software, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição. **L. C. SOUZA:** Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição. **A. M. S. ALONSO:** Análise de dados, Metodologia, Desenvolvimento, implementação e teste de software, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição. **H. K. M. PAREDES:** Análise de dados, Recebimento de financiamento, Disponibilização de ferramentas, Desenvolvimento, implementação e teste de software, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação - revisão e edição. **F. A. S. GONCALVES:** Análise de dados, Disponibilização de ferramentas, Desenvolvimento, implementação e teste de software, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação - revisão e edição. **L. O. ARENAS:** Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Pesquisa, Metodologia, Administração do projeto, Disponibilização de ferramentas, Desenvolvimento, implementação e teste de software, Supervisão, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição. **F. P. MARAFAO:** Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Recebimento de financiamento, Pesquisa, Metodologia, Administração do projeto, Disponibilização de ferramentas, Desenvolvimento, implementação e teste de software, Supervisão, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

PLÁGIO E SIMILARIDADE

O artigo foi submetido para verificação de similaridade no sistema Crossref Similarity Check (iThenticate).

REFERÊNCIAS

- [1] M. C. Abraham-Dukuma, M. O. Dioha, O. C. Aholu, N. V. Emodi, C. Ogbumbada, and A. Isah, "A marriage of convenience or necessity? Research and policy implications for electrifying upstream petroleum production systems with renewables," *Energy Res Soc Sci*, vol. 80, p. 102226, Oct. 2021, doi: [10.1016/j.erss.2021.102226](https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102226).
- [2] A. A. Adeyemo, E. Alves, F. Marra, D. Brandao, and E. Tedeschi, "Suitability assessment of high-power energy storage technologies for offshore oil and gas platforms: A life cycle cost perspective," *J Energy Storage*, vol. 61, p. 106643, May 2023, doi: [10.1016/j.est.2023.106643](https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106643).
- [3] R. C. Camargo, H. Sakamoto, L. F. N. Lourenço, M. B. C. Salles, and L. Kulay, "Eco-efficiency of power supply systems for offshore platforms," *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 7, p. 100475, Mar. 2024, doi: [10.1016/j.prime.2024.100475](https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100475).
- [4] R. N. Fard and E. Tedeschi, "Integration of Distributed Energy Resources into Offshore and Subsea Grids," *CPSS Transactions on Power Electronics and Applications*, vol. 3, no. 1, pp. 36–45, Mar. 2018, doi: [10.24295/CPSSSTPEA.2018.00004](https://doi.org/10.24295/CPSSSTPEA.2018.00004).
- [5] L. F. da Rocha, L. A. Vitoi, E. Tedeschi, and D. I. Brandao, "Control Strategies for Multifunctional Active Front-End Converter in Oil and Gas

- Platforms," in *2021 Brazilian Power Electronics Conference (COBEP)*, IEEE, Nov. 2021, pp. 1–8. doi: [10.1109/COBEP53665.2021.9684089](https://doi.org/10.1109/COBEP53665.2021.9684089).
- [6] F. L. Paes et al., "Coordinated Control of Adjustable Speed Drives Applied to Oil and Gas Production Platforms," in *2023 IEEE 8th Southern Power Electronics Conference and 17th Brazilian Power Electronics Conference (SPEC/COBEP)*, IEEE, Nov. 2023, pp. 1–8. doi: [10.1109/SPEC56436.2023.10407290](https://doi.org/10.1109/SPEC56436.2023.10407290).
- [7] L. C. Souza, F. L. Paes, L. de O. Arenas, D. I. Brandão, E. Tedeschi, and F. P. Marafão, "An overview on recent advances and research in offshore O&G power systems," *2024 Rio Oil and Gas (ROG.e 2024)* Sep. 2024, pp. 2776–2790. doi: [10.48072/2525-7579.roge.2024.3032](https://doi.org/10.48072/2525-7579.roge.2024.3032).
- [8] L. A. Vitoi, D. Brandao, and E. Tedeschi, "Active Power Filter Pre-Selection Tool to Enhance the Power Quality in Oil and Gas Platforms," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 4, p. 1024, Feb. 2021, doi: [10.3390/en14041024](https://doi.org/10.3390/en14041024).
- [9] P. Pandele, E. Thibaut, and E. Meyer, "All-Electrical FPSO Scheme With Variable-Speed Drive Systems," *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 49, no. 3, pp. 1188–1197, May 2013, doi: [10.1109/TIA.2013.2252133](https://doi.org/10.1109/TIA.2013.2252133).
- [10] X. Liang and W. Jackson, "Influence of Subsea Cables on Offshore Power Distribution Systems," in *2008 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, IEEE, Oct. 2008, pp. 1–7. doi: [10.1109/OIAS.2008.377](https://doi.org/10.1109/OIAS.2008.377).
- [11] E. Alves, S. Sanchez, D. Brandao, and E. Tedeschi, "Smart Load Management with Energy Storage for Power Quality Enhancement in Wind-Powered Oil and Gas Applications," *Energies (Basel)*, vol. 12, no. 15, p. 2985, Aug. 2019, doi: [10.3390/en12152985](https://doi.org/10.3390/en12152985).
- [12] Q. Li, Y. Mao, Y. Liu, A. Zhang, and W. Yang, "Modeling of Integrated Energy System of Offshore Oil and Gas Platforms Considering Couplings Between Energy Supply System and Oil and Gas Production System," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 157974–157982, 2020, doi: [10.1109/ACCESS.2020.3020135](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3020135).
- [13] M. S. Dall Asta et al., "Offshore Wind Energy Conversion System Connected to a Floating Production Storage and Offloading Unit: Electrical Aspects," in *2023 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, IEEE, Oct. 2023, pp. 321–328. doi: [10.1109/ECCE53617.2023.10362766](https://doi.org/10.1109/ECCE53617.2023.10362766).
- [14] G. Kim, J. Ahn, S. Chae, and E.-H. Kim, "Analysis of Resonant Frequency of Transmission Line Based on Large Scale Offshore Wind Farm," in *2019 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE)*, IEEE, Oct. 2019, pp. 221–225. doi: [10.1109/ISEE2.2019.8921149](https://doi.org/10.1109/ISEE2.2019.8921149).
- [15] S. Chapaloglou, D. Varagnolo, and E. Tedeschi, "Techno-Economic Evaluation of the Sizing and Operation of Battery Storage for Isolated Oil and Gas Platforms with High Wind Power Penetration," in *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, IEEE, Oct. 2019, pp. 4587–4592. doi: [10.1109/IECON.2019.8926739](https://doi.org/10.1109/IECON.2019.8926739).
- [16] A. Adeyemo, F. Marra, and E. Tedeschi, "Sizing of energy storage for spinning reserve and efficiency increase in isolated power systems within a stochastic unit commitment framework," *SSRN Electronic Journal*, 2024, doi: [10.2139/ssrn.4733919](https://doi.org/10.2139/ssrn.4733919).
- [17] J. K. Banda, A. A. Adeyemo, F. Marra, and E. Tedeschi, "Co-operative Control of BESS and Wind Turbines for Heavy Motor Starting on Industrial Isolated Grids," in *2023 11th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2023 - ECCE Asia)*, IEEE, May 2023, pp. 192–198. doi: [10.23919/ICPE2023-ECCEAsia54778.2023.10213912](https://doi.org/10.23919/ICPE2023-ECCEAsia54778.2023.10213912).
- [18] J. Banda, S. Chapaloglou, and E. Tedeschi, "MV Multi-functional Retrofit Converter for Enhanced Power Quality on O&G Platforms," in *2022 IEEE 13th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, IEEE, Jun. 2022, pp. 1–6. doi: [10.1109/PEDG54999.2022.9923203](https://doi.org/10.1109/PEDG54999.2022.9923203).
- [19] L. F. N. Lourenço, D. F. Pereira, R. M. Monaro, M. B. C. Salles, and R. M. P. Rosa, "Assessment of an Isolated Offshore Power Grid Based on the Power Hub Concept for Pre-Salt Oil and Gas Production," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 87671–87680, 2022, doi: [10.1109/ACCESS.2022.3199761](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3199761).
- [20] R. Itiki, S. G. Di Santo, C. Itiki, M. Manjrekar, and B. H. Chowdhury, "A comprehensive review and proposed architecture for offshore power system," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 111, pp. 79–92, Oct. 2019, doi: [10.1016/j.ijepes.2019.04.008](https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.04.008).
- [21] L. F. da Rocha, D. I. Brandao, K. de S. Medeiros, M. S. Dall'asta, and T. B. Lazzarin, "Coordinated Decentralized Control of Dynamic Volt-Var Function in Oil and Gas Platform With Wind Power Generation," *IEEE Open Journal of Industry Applications*, vol. 4, pp. 269–278, 2023, doi: [10.1109/OJIA.2023.3307299](https://doi.org/10.1109/OJIA.2023.3307299).
- [22] H. M. A. Antunes, D. I. Brandao, V. H. M. Biajo, M. H. S. Alves, F. S. Oliveira, and S. M. Silva, "Floating, Production, Storage, and Offloading Unit: A Case Study Using Variable Frequency Drives," *IEEE Trans Ind Appl*, pp. 1–9, 2023, doi: [10.1109/TIA.2023.3258420](https://doi.org/10.1109/TIA.2023.3258420).



- [23] H. K. Morales-Paredes, J. P. Bonaldo, and J. A. Pomilio, "Centralized Control Center Implementation for Synergistic Operation of Distributed Multifunctional Single-Phase Grid-Tie Inverters in a Microgrid," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 10, pp. 8018–8029, Oct. 2018, doi: [10.1109/TIE.2018.2801780](https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2801780).
- [24] T. D. C. Busarello, A. Mortezaei, A. Peres, and M. G. Simoes, "Application of the Conservative Power Theory Current Decomposition in a Load Power-Sharing Strategy Among Distributed Energy Resources," *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 54, no. 4, pp. 3771–3781, Jul. 2018, doi: [10.1109/TIA.2018.2820641](https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2820641).
- [25] D. I. Brandao, L. S. Araujo, A. M. S. Alonso, G. L. dos Reis, E. V. Liberado, and F. P. Marafão, "Coordinated Control of Distributed Three- and Single-Phase Inverters Connected to Three-Phase Three-Wire Microgrids," *IEEE J Emerg Sel Top Power Electron*, vol. 8, no. 4, pp. 3861–3877, Dec. 2020, doi: [10.1109/JESTPE.2019.2931122](https://doi.org/10.1109/JESTPE.2019.2931122).
- [26] A. M. S. Alonso, L. D. O. Arenas, D. I. Brandao, E. Tedeschi, R. Q. Machado, and F. P. Marafão, "Current-Based Coordination of Distributed Energy Resources in a Grid-Connected Low-Voltage Microgrid: An Experimental Validation of Adverse Operational Scenarios," *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 17, p. 6407, Sep. 2022, doi: [10.3390/en15176407](https://doi.org/10.3390/en15176407).
- [27] J. M. S. Callegari, L. A. Vitoi, and D. I. Brandao, "VFD-Based Coordinated Multi-Stage Centralized/Decentralized Control to Support Offshore Electrical Power Systems," *IEEE Trans Smart Grid*, vol. 14, no. 4, pp. 2863–2873, Jul. 2023, doi: [10.1109/TSG.2022.3224616](https://doi.org/10.1109/TSG.2022.3224616).
- [28] P. Tenti, H. K. M. Paredes, and P. Mattavelli, "Conservative Power Theory, a Framework to Approach Control and Accountability Issues in Smart Microgrids," *IEEE Trans Power Electron*, vol. 26, no. 3, pp. 664–673, Mar. 2011, doi: [10.1109/TPEL.2010.2093153](https://doi.org/10.1109/TPEL.2010.2093153).
- [29] WEG, "Inversor de Frequência de Média Tensão MVW3000," 2022.
- [30] IEC, "IEC 61850 series: Communication networks and systems for power utility automation (parts 1–10)," 2nd ed., Switzerland: IEC, 2011, pp. 1–10.
- [31] M. P. de Santana, E. L. G. Junior, E. J. Agnoletto, H. K. Morales Paredes, and F. P. Marafão, "Modelo de Gerador Síncrono de Ordem Reduzida para Otimizar Simulações Computacionais de Sistemas de Energia de Plataformas de Petróleo e Gás," in *2024 IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference Brasil (PCIC Brasil)*, IEEE, Apr. 2024, pp. 1–9. doi: [10.1109/PCICBrasil54376.2024.10553201](https://doi.org/10.1109/PCICBrasil54376.2024.10553201).
- [32] EPA, "Stationary Internal Combustion Sources Section 3.1: Stationary Gas Turbines," in *Air Emissions Factors and Quantification*, Fifth Edition., vol. I, 2009, ch. 3. Accessed: Oct. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch03/index.html>
- [33] M. P. de Santana et al., "Modeling and Tuning of Speed Regulators for FPSOs Generation Systems," in *2023 IEEE 8th Southern Power Electronics Conference and 17th Brazilian Power Electronics Conference (SPEC/COBEP)*, IEEE, Nov. 2023, pp. 1–7. doi: [10.1109/SPEC56436.2023.10408478](https://doi.org/10.1109/SPEC56436.2023.10408478).
- [34] F. A. Serrão Gonçalves et al., "Estratégias para Modelagem de Motores de Indução E Estudo de Caso em Uma Plataforma Marítima de Petróleo," in *2024 IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference Brasil (PCIC Brasil)*, IEEE, Apr. 2024, pp. 1–11. doi: [10.1109/PCICBrasil54376.2024.10552927](https://doi.org/10.1109/PCICBrasil54376.2024.10552927).
- [35] R. Dos Santos et al., "Análise da Resposta Transitória do Sistema de Energia Elétrica de Uma FPSO," in *2024 IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference Brasil (PCIC Brasil)*, IEEE, Apr. 2024, pp. 1–7. doi: [10.1109/PCICBrasil54376.2024.10552930](https://doi.org/10.1109/PCICBrasil54376.2024.10552930).
- [36] F. L. Paes et al., "Evaluating A Coordinated Control Proposal in Operational Scenarios of an FPSO Oil and Gas Platform," in *2024 IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference Brasil (PCIC Brasil)*, IEEE, Apr. 2024, pp. 1–8. doi: [10.1109/PCICBrasil54376.2024.10553099](https://doi.org/10.1109/PCICBrasil54376.2024.10553099).
- [37] L. C. Souza et al., "Análise Computacional do Sistema Elétrico de Potência de Uma Plataforma FPSO de Petróleo em Regime Permanente," in *2024 IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference Brasil (PCIC Brasil)*, IEEE, Apr. 2024, pp. 1–8. doi: [10.1109/PCICBrasil54376.2024.10553041](https://doi.org/10.1109/PCICBrasil54376.2024.10553041).

DADOS BIOGRÁFICOS

Felipe Leite Paes é doutor (2024) e mestre (2018) em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), com pesquisas focadas em qualidade de energia e controle de sistemas elétricos avançados. Graduado em Engenharia Elétrica pela FACENS (2013), também possui especialização em Gestão de Projetos pela FGV (2015). Como membro do Grupo de Automação e Sistemas Integráveis (GASJ), dedica-se a temas

como medidores inteligentes, controle coordenado de conversores eletrônicos e gestão de sistemas elétricos em plataformas de produção de petróleo e gás. Atualmente, é professor adjunto no Instituto Federal de São Paulo (IFSP), campus Sorocaba, onde integra o Departamento de Eletroeletrônica e Energias Renováveis.

Lucas Carvalho Souza é graduado em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (2018). Concluiu o mestrado (2021) em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus Ilha Solteira. Atualmente, é doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da UNESP – Campus Bauru, em parceria com o Instituto de Ciência e Tecnologia (ICTS) da UNESP – Campus Sorocaba. Seus interesses incluem eletrônica de potência, qualidade de energia, sistemas embarcados e sistemas elétricos isolados.

Augusto Matheus dos Santos Alonso obteve o título de Doutor em Engenharia Elétrica em 2021, com dupla titulação pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) e pela Norwegian University of Science and Technology (NTNU). Em 2022, atuou como pesquisador de pós-doutorado na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Desde 2022, é professor assistente no Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP). Seus interesses de pesquisa incluem controle digital de conversores de potência, microrredes, qualidade de energia e redes inteligentes. É membro do IEEE e da SOBRAEP.

Helmo Kelis Morales Paredes é Professor Associado na UNESP em Sorocaba. Obteve o título de Engenheiro em Engenharia Elétrica pela Universidade Nacional de San Agustín, Arequipa, Peru em 2002, os títulos de Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica pela UNICAMP em 2006 e 2011, respectivamente. Realizou estágios na Università degli Studi di Padova (2009), na Universidade de Nottingham (2014) e na Colorado School of Mines (2018). Seus interesses de pesquisa incluem análise e condicionamento da qualidade da energia elétrica, propagação de harmônicas e desequilíbrios, controle de conversores de potência em ambientes de redes e microrredes inteligentes. É membro sênior do IEEE, membro da SBA e da SOBRAEP.

Flavio Alessandro Serrão Gonçalves possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica com especialização na área de Eletrônica de Potência pela UNESP e estágio na Università degli Studi di Padova (2011). Atua como professor na UNESP em Sorocaba desde 2010, suas principais áreas de interesse são Aplicações da Eletrônica de Potência, Controle e Acionamentos Eletrônicos de Máquinas Elétricas, Integração de Recursos Energéticos e Modernização de Sistemas de Energia Offshore. É membro do IEEE e da SOBRAEP.

Luis Armando De Oro Arenas é graduado em Engenharia Eletrônica pela Universidade Nacional da Colômbia – Bogotá (2012). Possui mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), concluídos em 2014 e 2019, respectivamente. Realizou estudos de pós-doutorado no Laboratório de Eletrônica de Potência – UNESP/FEIS (2019) e no Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba – UNESP (2020–2022). Atualmente, é professor assistente no ICTS-UNESP, vinculado ao Departamento de Engenharia Ambiental. Sua pesquisa abrange Instrumentação Eletrônica e Ciência de Dados aplicadas a Sistemas Ambientais, Qualidade de Energia e Processamento de Sinais Digitais e Analógicos.

Fernando Pinhabel Marafão é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), com mestrado e doutorado pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Realizou estágios nas instituições Università degli Studi di Padova (2002), Colorado School of Mines (2013) e Norwegian University of Science and Technology (2020). Desde 2005, é professor associado na UNESP, em Sorocaba (SP), onde lidera ou contribui em diversos projetos de pesquisa, com mais de 200 artigos publicados. Suas principais áreas de interesse incluem aplicações de Eletrônica de Potência, Digitalização de Sistemas Elétricos, Integração de Recursos Energéticos e Modernização de Sistemas de Potência Offshore.