

# GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (GE68A)

## Resumo de Referências para a Etapa 1

### Tema 6: Suprimento de Energia para Data Center Modular

Aleksander Da Silva Toth  
Emanuel Dantas de Carvalho  
Gabriel Eidi Lopes Yamashita

12 DE NOVEMBRO DE 2025

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Nota Metodológica: O Uso das Referências</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Pilar 1: Análise de Demanda e Carga</b>	<b>3</b>
3.1	NOVEC Data Center Load Forecast [16]	3
3.2	Load Duration Curves in Development of TMDLs (EPA) [23]	3
3.3	Load Growth Is Here to Stay, but Are Data Centers? (E3) [6]	4
<b>4</b>	<b>Pilar 2: Dimensionamento e Confiabilidade</b>	<b>5</b>
4.1	Datasheet: Modular Data Center All-in-One (Schneider) [22]	5
4.2	The Importance of Energy Backup for Data Centers (DELTA) [5]	5
4.3	Eficiência Energética em Data Center: Estudo de Caso (TCC) [10]	5
4.4	Norma ABNT NBR 14039 [15]	5
4.5	Norma IEC 60909-0 [9]	6
<b>5</b>	<b>Pilar 3: Tecnologias Avançadas (Eficiência)</b>	<b>7</b>
5.1	Efficient data center design using novel modular DC UPS [3]	7
5.2	ZVS Switched-Tank Modular Converter for Data Center [24]	7
5.3	Energy-Saving Potential of Air-Side Economisers [1]	7
<b>6</b>	<b>Pilar 4: Análise Econômica</b>	<b>8</b>
6.1	Análise de Cenários Econômicos (EN67A) [25]	8
6.2	Apresentação Slides: Geração de Energia (GE68A) [4]	8
6.3	Data Centers: Surging Demand (S&P Global) [21]	8
<b>7</b>	<b>Pilar 5: Análise Ambiental</b>	<b>9</b>
7.1	Aula: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (CA68A) [17]	9
7.2	Aula: Poluição Atmosférica (CA68A) [18]	9
7.3	Diretiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances) [7]	9
7.4	Beneath the surface: Water stress in data centers [20]	9
<b>8</b>	<b>Bônus: Plano de Ação por Membro (Etapa 1)</b>	<b>10</b>
8.1	Aleksander Da Silva Toth (Foco: Demanda e CAPEX)	10
8.2	Emanuel Dantas de Carvalho (Foco: Confiabilidade e OPEX)	10
8.3	Gabriel Eidi Lopes Yamashita (Foco: Dimensionamento e LCOE)	10

# 1 Introdução

Este documento resume as referências bibliográficas mais relevantes, filtradas de um conjunto de mais de 40 arquivos, para a execução da **Etapa 1** do projeto (Issues [#8](#), [#9](#), [#10](#) e [#11](#)).

O objetivo é servir como um guia rápido para a equipe, direcionando cada membro para as fontes primárias e secundárias necessárias para suas tarefas específicas, conforme definido no documento de Proposta.

# 2 Nota Metodológica: O Uso das Referências

Conforme discutido, este documento lista tanto os materiais de aula (slides das disciplinas) quanto as fontes primárias (livros, normas, artigos).

A recomendação é que os materiais de aula (ex: [\[4\]](#), [\[17\]](#)) sirvam como **guias de estudo** para entender a metodologia exata do professor.

No entanto, no **Relatório Final** (que será o entregável da Etapa 1 e Etapa Final), o trabalho deve priorizar as citações diretas às **fontes primárias** (os livros da bibliografia básica, como [\[13\]](#) ou [\[14\]](#), as normas ABNT/IEC e os artigos técnicos), assim como foi feito nos relatórios de Iniciação Científica [\[19\]](#).

# 3 Pilar 1: Análise de Demanda e Carga

(Foco principal da [Issue #8](#))

## 3.1 NOVEC Data Center Load Forecast [\[16\]](#)

Arquivo: 20241025-item-03b--novec-large-load-request.pdf

- **Resumo:** Referência-chave. Apresentação real da cooperativa NOVEC mostrando graficamente que a curva de carga de um data center é "flat"(plana).
- **Uso Prático:** Justifica a premissa de um **Fator de Carga (FC) muito alto** (ex: 90%).
- **Relevante para:** Aleksander (Cálculo do FC), Gabriel (Consumo Anual).

## 3.2 Load Duration Curves in Development of TMDLs (EPA) [\[23\]](#)

Arquivo: 2007\_08\_23\_tmdl\_duration\_curve\_guide\_aug2007.pdf

- **Resumo:** Guia oficial da EPA (EUA) sobre a **Curva de Duração de Carga (CDC)**.
- **Uso Prático:** Fornece a metodologia exata para a tarefa "Construir a CDC" e "Identificar carga base e de ponta".
- **Relevante para:** Aleksander.

### 3.3 Load Growth Is Here to Stay, but Are Data Centers? (E3) [6]

Arquivo: E3-White-Paper-2024-Load-Growth...pdf

- **Resumo:** Relatório técnico que corrobora a referência da NOVEC, afirmando que a carga é "relativamente estável" e usa uma premissa de **Fator de Carga de 86%**.
- **Uso Prático:** Fonte secundária para validar a premissa de  $FC \approx 90\%$ .
- **Relevante para:** Aleksander, Gabriel.

## 4 Pilar 2: Dimensionamento e Confiabilidade

(Foco principal das Issues #9 e #10)

### 4.1 Datasheet: Modular Data Center All-in-One (Schneider) [22]

Arquivo: Schneider Electric\_Modular-Data-Center...PFMIEC020D1N006D.pdf

- **Resumo:** Datasheet real da Schneider Electric para um Data Center Modular.
- **Uso Prático:** Fonte primária para "Dimensionamento preliminar". Fornece dados reais de potência (20kW), tensões e PUE de referência.
- **Relevante para:** Gabriel (Dimensionamento), Aleksander (CAPEX).

### 4.2 The Importance of Energy Backup for Data Centers (DELTA) [5]

Arquivo: Technical Article\_2 - DELTA.pdf

- **Resumo:** Artigo técnico da DELTA sobre a importância do backup de energia. Discute falhas da rede e a necessidade de **redundância** (N+1, 2N).
- **Uso Prático:** Justifica a arquitetura do nosso sistema híbrido (Rede + Gerador + BESS/UPS) e embasa a "Análise da Confiabilidade".
- **Relevante para:** Emanuel (Confiabilidade).

### 4.3 Eficiência Energética em Data Center: Estudo de Caso (TCC) [10]

Arquivo: 2015JuarezSantanaFracalossiJunior.pdf

- **Resumo:** O TCC de referência. Define a métrica **PUE** e a classificação de **Tiers** (1 a 4) da norma ANSI/TIA-942.
- **Uso Prático:** Referencial teórico principal para "Eficiência" e "Confiabilidade".
- **Relevante para:** Todos os membros.

### 4.4 Norma ABNT NBR 14039 [15]

Arquivo: NBR14039.pdf

- **Resumo:** Norma ABNT para instalações de Média Tensão (1,0 kV a 36,2 kV).
- **Uso Prático:** Norma técnica obrigatória para justificar o dimensionamento da conexão com a concessionária.
- **Relevante para:** Gabriel (Dimensionamento).

#### 4.5 Norma IEC 60909-0 [9]

Arquivo: IEC60909-0.pdf

- **Resumo:** Norma IEC para cálculo de correntes de curto-circuito.
- **Uso Prático:** Metodologia base para a "Análise da Confiabilidade" (proteção do sistema).
- **Relevante para:** Emanuel (Confiabilidade).

## 5 Pilar 3: Tecnologias Avançadas (Eficiência)

*(Foco na diferenciação do projeto)*

### 5.1 Efficient data center design using novel modular DC UPS [3]

Arquivo: Efficient\_data\_center\_design\_using...pdf

- **Resumo:** Artigo que propõe o uso de um **barramento DC (Corrente Contínua)** para alimentar os servidores, eliminando perdas de conversão AC-DC-AC-DC.
- **Uso Prático:** Justifica a escolha de uma arquitetura de BESS/UPS de alta eficiência.
- **Relevante para:** Aleksander, Gabriel (Dimensionamento).

### 5.2 ZVS Switched-Tank Modular Converter for Data Center [24]

Arquivo: Zero\_Voltage\_Switching\_Switched-Tank\_Modular...pdf

- **Resumo:** Artigo de pesquisa que conecta **conversores avançados (ZVS)** diretamente à aplicação em data centers.
- **Uso Prático:** Embasamento teórico para o projeto do conversor do BESS/UPS.
- **Relevante para:** Aleksander.

### 5.3 Energy-Saving Potential of Air-Side Economisers [1]

Arquivo: The Energy-Saving Potential of Air-Side Economisers...pdf

- **Resumo:** Analisa o potencial de "Air-Side Economisers" (refrigeração "gratuita" com ar externo).
- **Uso Prático:** Metodologia de refrigeração que podemos adotar para justificar um PUE baixo.
- **Relevante para:** Gabriel (Dimensionamento), Emanuel (OPEX).

## 6 Pilar 4: Análise Econômica

(Foco nas Issues #8 e #9)

### 6.1 Análise de Cenários Econômicos (EN67A) [25]

Arquivo: ANALISE-DE-CENARIOS-ECONOMICOS.pdf

- **Resumo:** Material da disciplina de Economia (EN67A).
- **Uso Prático:** Base para a **análise de sensibilidade** e para a definição da **taxa de desconto** ( $r$ ) do LCOE.
- **Relevante para:** Aleksander (CAPEX), Emanuel (OPEX), Gabriel (LCOE).

### 6.2 Apresentação Slides: Geração de Energia (GE68A) [4]

Arquivo: Apresentação\_Slides\_\_\_Geração\_de\_Energia.pdf

- **Resumo:** Material da disciplina de Geração (GE68A).
- **Uso Prático:** Contém a **fórmula exata do LCOE** usada pelo professor.
- **Relevante para:** Gabriel (LCOE).

### 6.3 Data Centers: Surging Demand (S&P Global) [21]

Arquivo: Data Centers\_ Surging Demand Will Benefit And Tes...pdf

- **Resumo:** Relatório da S&P Global sobre a "explosão" da demanda por IA.
- **Uso Prático:** Justificativa de mercado para o projeto e para o alto **CAPEX**.
- **Relevante para:** Aleksander (CAPEX), Todos (Relatório).

## 7 Pilar 5: Análise Ambiental

(Foco na [Issue #9](#), e tarefa de Gabriel)

### 7.1 Aula: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (CA68A) [17]

Arquivo: CA68A\_aula\_29sep2025\_alunos.pdf

- **Resumo:** Aula de Ciências do Ambiente (CA68A) sobre **ACV**.
- **Uso Prático:** Esta será a **metodologia principal** para a tarefa "Impactos socioambientais".
- **Relevante para:** Gabriel.

### 7.2 Aula: Poluição Atmosférica (CA68A) [18]

Arquivo: CA68A\_aula\_22sep2025.pdf

- **Resumo:** Aula de CA68A sobre **Poluição Atmosférica**.
- **Uso Prático:** Base para analisar as emissões do gerador a diesel (GEE, particulados).
- **Relevante para:** Gabriel.

### 7.3 Diretiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances) [7]

Arquivo: export\_RoHS...pdf

- **Resumo:** Documento sobre a diretiva **RoHS** da UE.
- **Uso Prático:** Metodologia para analisar o impacto do **descarte** dos componentes eletrônicos.
- **Relevante para:** Gabriel.

### 7.4 Beneath the surface: Water stress in data centers [20]

Arquivo: Beneath the surface\_ Water stress in data centers...pdf

- **Resumo:** Relatório da S&P Global sobre o **consumo de água** (métrica **WUE**).
- **Uso Prático:** Diferencial na análise de impacto (água vs. energia).
- **Relevante para:** Gabriel.

## 8 Bônus: Plano de Ação por Membro (Etapa 1)

Abaixo está um guia passo a passo sugerido para cada membro, conectando as tarefas do escopo [10] às referências que filtramos.

### 8.1 Aleksander Da Silva Toth (Foco: Demanda e CAPEX)

1. **Definir a Curva de Carga:** Usar [16] e [6] para justificar uma premissa de Demanda Máxima (ex: 10 MW) e Fator de Carga (ex: 90%).
2. **Construir a CDC:** Plotar a Curva de Duração de Carga (CDC) usando a metodologia do guia da EPA [23].
3. **Estimar Geração Solar:** Usar o livro [12] (da bibliografia de GE68A) para estimar a geração anual de energia do sistema fotovoltaico.
4. **Estimar o CAPEX:** Usar os datasheets [22] e os relatórios [21] para estimar o custo inicial (hardware, terreno, instalação).
5. **Definir BESS/UPS (Tecnologia):** Usar os artigos [3] e [24] para definir a arquitetura (ex: Barramento DC) do sistema de armazenamento, alinhado ao TCC/IC.

### 8.2 Emanuel Dantas de Carvalho (Foco: Confiabilidade e OPEX)

1. **Definir Confiabilidade (Tier):** Usar o TCC [10] e o artigo da DELTA [5] para definir o nível de redundância (ex: N+1, Tier 3).
2. **Metodologia de Proteção:** Definir que a análise de confiabilidade usará a norma [9] e o livro [13] (de SEEL6O) como base.
3. **Estimar Fator de Capacidade:** Usar os livros [12] e [8] (de GE68A) para definir o Fator de Capacidade.
4. **Estimar o OPEX:** Usar o artigo [2] e o material [25] para custos de O&M, combustível e energia da rede.

### 8.3 Gabriel Eidi Lopes Yamashita (Foco: Dimensionamento e LCOE)

1. **Cálculos Iniciais:** Usar os dados do Aleksander (Demanda Máx, FC) para calcular o Consumo Anual de Energia.
2. **Dimensionamento (MT):** Usar a norma [15] e o livro [11] (de SEEL6O) para dimensionar a conexão e os transformadores.
3. **Dimensionamento (BT/Módulos):** Usar os datasheets [22] para especificar os módulos.
4. **Calcular o LCOE:** Usar a fórmula do slide [4], com os dados de CAPEX/OPEX e os conceitos do livro [14] (de EN67A).
5. **Análise de Impactos (ACV):** Executar a tarefa "Impactos socioambientais" usando a metodologia ACV [17], analisando emissões [18], descarte (RoHS [7]) e consumo de água (WUE [20]).

## Referências

- [1] M. K. Al-Khasawneh et al. «The Energy-Saving Potential of Air-Side Economisers in Modular Data Centres». Em: *Applied Sciences* 9.21 (2019). Arquivo: The Energy-Saving Potential of Air-Side Economisers...pdf.
- [2] S. F. Aghaei et al. «Energy Management in Data Centers from Design to Operations and Maintenance». Em: *IEEE Access* 8 (2020), pp. 206385–206411.
- [3] A. Askari e M. S. J. M. S. Asl. «Efficient data center design using novel modular DC UPS». Em: *Journal of Energy Management and Technology* 3.3 (2019). Arquivo: Efficient\_data\_center\_design\_using...pdf, pp. 48–55.
- [4] Prof. Vinicius Dario Bacon. *Apresentação Slides: Geração de Energia (LCOE)*. Material da Disciplina - UTFPR-AP. Arquivo: Apresentação Slides Geração de Energia.pdf. 2024.
- [5] Delta Electronics. *The Importance of Energy Backup for Data Centers*. Artigo Técnico. Arquivo: Technical Article\_2 - DELTA.pdf. 2017.
- [6] Energy and Environmental Economics (E3). *Load Growth Is Here to Stay, but Are Data Centers?* Rel. téc. Arquivo: E3-White-Paper-2024-Load-Growth-Is-Here-to-Stay-but-Are-Data-Centers-2.pdf. E3, jul. de 2024.
- [7] European Commission. *DIRECTIVE 2011/65/EU on the restriction of the use of certain hazardous substances (RoHS)*. Rel. téc. Arquivo: export\_RoHS...pdf. European Commission, 2022.
- [8] Hélio M. Gomes. *Energia Eólica: Fundamentos e Tecnologia*. Editora LTC, 2015.
- [9] *IEC 60909-0: Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents*. International Electrotechnical Commission (IEC), 2016.
- [10] Juarez Santana Fracalossi Junior. *Eficiência Energética em Data Center: Estudo de Caso Univates*. Monografia (Engenharia da Computação). Lajeado, 2015.
- [11] Irving L. Kosow. *Máquinas Elétricas e Transformadores*. 15<sup>a</sup>. Editora Globo, 2009.
- [12] Arno Krenzinger e Hélio M. Gomes. *Energia Solar Fotovoltaica: Manual de Engenharia*. Editora LTC, 2014.
- [13] João Mamede. *Instalações Elétricas Industriais*. 8<sup>a</sup>. Editora LTC, 2012.
- [14] N. Gregory Mankiw. *Introdução à Economia*. 5<sup>a</sup>. Cengage Learning, 2009.

- [15] *NBR 14039: Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2005.
- [16] Northern Virginia Electric Cooperative (NOVEC). *NOVEC Data Center Load Forecast*. Apresentação para PJM Load Analysis Subcommittee (LAS). Arquivo: 20241025-item-03b—novec-large-load-request.pdf. Out. de 2024.
- [17] Prof. Dr. Fabio Orssatto. *Ciências do Ambiente - Aula: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) - Parte 1*. Notas de Aula (29/09/2025) - UTFPR-AP. Arquivo: CA68A\_aula\_29sep2025\_alunos.pdf. 2025.
- [18] Prof. Dr. Fabio Orssatto. *Ciências do Ambiente - Aula: Poluição Atmosférica*. Notas de Aula (22/09/2025) - UTFPR-AP. Arquivo: CA68A\_aula\_22sep2025.pdf. 2025.
- [19] Muhammad H Rashid. *Power electronics: circuits, devices, and applications*. Referência da IC. Pearson Education, 2009.
- [20] S&P Global Ratings. *Beneath the surface: Water stress in data centers*. Rel. téc. Relatório de Mercado. Arquivo: Beneath the surface\_ Water stress...pdf. Abr. de 2024.
- [21] S&P Global Ratings. «Data Centers: Surging Demand Will Benefit And Test U.S. Public Power Utilities». Em: (jul. de 2024). Relatório de Mercado. Arquivo: Data Centers\_ Surging Demand...pdf.
- [22] Schneider Electric. *Modular Data Center All-in-One Essential 20kW*. Rel. téc. Datasheet. Arquivo: Schneider Electric\_Modular-Data-Center-AllinOne-Essential...pdf. 2024.
- [23] U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *An Approach for Using Load Duration Curves in the Development of TMDLs*. Rel. téc. Arquivo: 2007\_08\_23\_tmdl\_duration\_curve\_guide EPA, ago. de 2007.
- [24] H. Li Z. Ye Y. Han e G. Li. «Zero-Voltage-Switching Switched-Tank Modular Converter for Data Center Application». Em: *IEEE Transactions on Power Electronics* 38.1 (2023). Arquivo: Zero\_Voltage\_Switching\_Switched-Tank\_Modular...pdf, pp. 933–945.
- [25] Prof. Ma. Bruna Zomer. *Análise de Cenários Econômicos*. Material da Disciplina - UTFPR-AP. Arquivo: ANALISE-DE-CENARIOS-ECONOMICOS.pdf. 2024.