

<virtual>

CUBE
DESIGN

</virtual>

● CubeSat

● Desafio: EPS

● Revisión 1.0

● 20/09/2020

Resumen

1.	Lista de Revisiones	3
2.	Informaciones Generales	4
2.1.	Alcance	4
2.2.	Documentos de referencia	5
2.3.	Limitaciones	5
2.4.	Downloads	6
3.	Introducción.....	7
3.1.	Función	7
3.2.	Principales componentes	7
3.3.	Almacenamiento de energía	8
3.4.	Gestión de energía eléctrica	8
4.	El desafío	9
4.1.	Entradas.....	9
4.2.	EPS Virtual.....	12
4.2.1.	Paso de simulación.....	12
4.2.2.	Tiempo total de simulación	13
4.2.1.	Situaciones de Simulación.....	13
4.2.2.	Potencia del bus	13
4.2.3.	Potencia generada.....	14
4.2.4.	Batería	14
4.3.	Salidas	15
4.3.1.	Modelo.....	15
4.3.2.	Panel solar.....	15
4.3.3.	Batería	16
4.3.4.	Presupuesto de energía	16
4.3.5.	Consideraciones finales.....	17
5.	Evaluación.....	18

1. Lista de Revisiones

Revisión	Descripción	Data
0.0	Documento original	25/09/2020
1.0	Tabla 9	29/09/2020
2.0	Tabla 4 e 5	01/11/2020

2. Informaciones Generales

CubeDesign es un concurso para el desarrollo de pequeños satélites.

Al darse cuenta de la necesidad de acercarse a la sociedad, CubeDesign fue creado para enfatizar la importancia de las actividades espaciales.

Si, por un lado, CubeDesign, al igual que otros concursos de ingeniería, estimula el desarrollo de competencias profesionales esenciales, por otro lado, genera la curiosidad de las personas en la competencia, atrayendo cada vez a más público a conocer un poco más sobre la importancia del área espacial para la sociedad. Esta iniciativa permite el acercamiento entre los actores tradicionales del programa espacial con las nuevas generaciones, interesadas en el desarrollo de pequeños satélites.

En la categoría CubeSat del CubeDesign virtual, los equipos tendrán la oportunidad de desarrollar actividades de Modelado y Simulación de Sistemas Espaciales, fundamentales para el análisis de una misión espacial.

2.1. Alcance

Este documento presentará los detalles relacionados con el desafío del subsistema de suministro de energía, como se muestra en la Figura 1. Por lo tanto, los otros desafíos se describen en documentos separados.

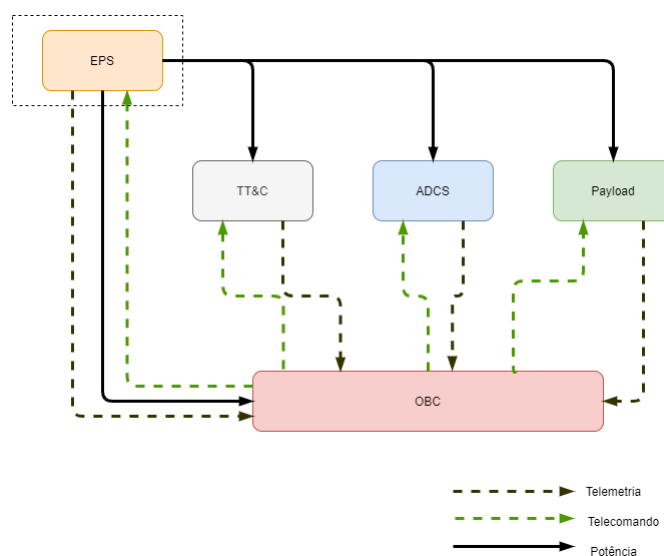


Figura 1 – Desafio relacionado ao EPS.

El cronograma de este desafío se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 – Fechas importantes.

Data	
03/11/2020	Período da Capacitação
06/11/2020	Início del desafío
13/11/2020, a las 23h59 (Hora de Brasilia)	Plazo máximo para la realización de las entregas

Acceder al [sitio del evento](#) para obtener más información sobre la fecha límite de inscripción y otros desafíos.

2.2. Documentos de referencia

[DR0]	CHAGAS, R. A. J.; SOUSA, F. L.; LOURO, A. C.; SANTOS, W. G. Modeling and design of a multidisciplinary simulator of the concept of operations for space mission pre-phase A studies. Current Engineering Research and Applications, v. 27, n. 1, p. 28-39, mar. 2019.
[DR1]	Wertz, J. R., Everett, D. F., & Puschell, J. J. (2011). <i>Space mission engineering: The new SMAD</i> . Hawthorne, CA: Microcosm Press.
[DR2]	Órbita do CBERS-3 e 4. http://www.cbers.inpe.br/sobre/orbita/cbers3-4.php . Acesso em:14 de setembro de 2020.
[DR3]	VHF/UHF duplex transceiver - https://www.isispace.nl/wp-content/uploads/2016/02/VHF-UHF-Full-Duplex-Transceiver-Brochure-web-1.pdf . Acesso em:14 de setembro de 2020.
[DR4]	ISIS On board computer - https://www.isispace.nl/wp-content/uploads/2016/02/IOBC-Brochure-web-compressed.pdf . Acesso em:14 de setembro de 2020.
[DR5]	NanoCam C1U - https://gomspace.com/UserFiles/Subsystems/datasheet/gs-ds-nanocam-c1u-18.pdf . Acesso em:14 de setembro de 2020.
[DR6]	Single Axis Reaction Wheel - https://www.cubesatshop.com/wp-content/uploads/2016/06/MAI_Single_Axis_Reaction_Wheel_Assembly-Datasheet.pdf . Acesso em:14 de setembro de 2020.

2.3. Limitaciones

Aunque el desafío refleja en gran medida lo que se practica para simular el análisis del Subsistema de Suministro de Energía [DR0], a continuación se enumeran algunas limitaciones y simplificaciones para este desafío:

- La simulación se llevará a cabo a nivel de subsistema y no considera todos los aspectos a nivel de componente.
- Todas las simulaciones de EPS representan una prueba de concepto, hacia la elección de una solución para una misión en particular. Por lo tanto, los desafíos no están destinados a simular un proyecto detallado.
- El modelo del subsistema de suministro de energía solo considerará un bus de voltaje.
- Además, el desafío considera situaciones hipotéticas. Por tanto, en una misión real, es necesario adaptar algunos enfoques para que el modelo y, en consecuencia, el resultado de la simulación sea fiel a la necesidad de la misión.
- El desafío descrito aquí no está directamente relacionado con la 3ª edición de CubeDesign.
- Como los desafíos se realizarán en MATLAB / Simulink, se adoptará el punto como separador decimal en el contexto de este documento.
- Respecto a la Radiancia del Sol, no es necesario considerarlo. En esta simplificación estamos adoptando el peor de los casos. Si su modelo no considera esta simplificación, utilice 1367 W / m^2 .
- Para facilitar las pruebas, es obligatorio que los equipos utilicen la misma designación para el nombre de las variables, definidas en este documento.
- La simulación se realizará considerando un CubeSat 1U (10 cm x 10 cm x 11,35 cm).

2.4. Downloads

Qué	Link	Descripción
Docu- mentos de Referencia	https://drive.google.com/drive/folders/1b0bForJJKx9gnBFnJ537kc3HasKV-O_q?usp=sharing	Algunos documentos presentados en la Sección 2.2, están disponibles en esta carpeta.
Dados	https://drive.google.com/drive/folders/13-zxAl7QDkdFZal2vEyTk1bUuSx-82aQ?usp=sharing	Espacio de trabajo de Matlab que contiene algunas entradas descritas en la Sección 4.1.

3. Introducción

El Subsistema de Suministro de Energía (EPS) debe proporcionar la energía eléctrica adecuada a todos los equipos activos que componen los subsistemas, para que puedan operar correctamente durante la vida del satélite [DR1].

En este sentido, EPS se considera uno de los principales subsistemas, ya que está físicamente conectado a todos los demás subsistemas. Por lo tanto, debe tener una alta confiabilidad durante el tiempo de misión, ya que cualquier falla en este subsistema puede ser catastrófica, poniendo en riesgo la misión y el objetivo del proyecto.

3.1. Función

EPS es responsable de generar, almacenar, controlar y distribuir energía eléctrica a todos los equipos que integran el satélite con el fin de proporcionar el nivel de potencia adecuado para el funcionamiento de los distintos modos del satélite durante su misión [DR1].

3.2. Principales componentes

Generalmente, EPS se compone de un conjunto de paneles solares, un sistema de almacenamiento de energía, generalmente baterías, y un sistema de administración de energía eléctrica llamado PCDU (Unidad de distribución y control de energía), como se muestra en la Figura 2 .

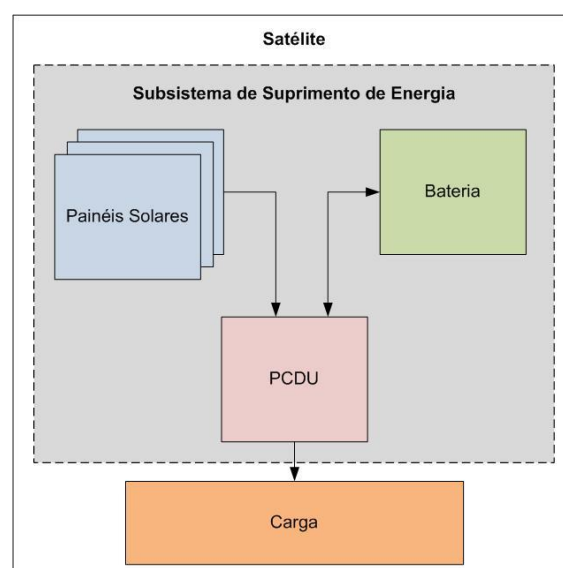


Figura 2 – Subsistema de suministro de energía.

Los paneles solares se consideran la principal fuente de suministro de energía para CubeSat. Los paneles solares están formados por células solares, que utilizan el efecto fotovoltaico para convertir la incidencia de fotones, provenientes del sol en la superficie de su semiconductor, en corriente eléctrica. En este sentido, su función es suministrar energía eléctrica al satélite durante el período de órbita cuando hay incidencia de luz solar en la superficie de la celda para cargar la batería y mantener los demás subsistemas operativos.

3.3. Almacenamiento de energía

Teniendo en cuenta los periodos de eclipse de la órbita, es decir, cuando no hay incidencia solar en los paneles solares, los CubeSats también pueden tener un sistema de almacenamiento de energía. Este sistema se considera como la fuente de energía secundaria y suele estar formado por una batería. De esta forma, la energía eléctrica sobrante generada por los paneles solares durante el tiempo que hay incidencia de luz solar sobre la superficie de la celda, se almacena en un banco de baterías para que el satélite tenga autonomía de funcionamiento cuando no hay incidencia directa. de luz en los paneles.

3.4. Gestión de energía eléctrica

El sistema de gestión de energía eléctrica de la PCDU es la interfaz eléctrica que debe garantizar una conexión eléctrica adecuada y confiable entre las fuentes de energía primaria y secundaria y los demás subsistemas satélite. Además, la PCDU debe contar con un sistema de protección eléctrica de las cargas y contar con sensores para evaluar la potencia consumida por los equipos activos a fin de proporcionar de manera eficiente la activación y recarga de las baterías durante la órbita.

4. El desafío

El desafío es modelar y simular el funcionamiento de un subsistema de suministro de energía (Virtual EPS), utilizando MATLAB / Simulink. La Figura 3 presenta la descripción general del desafío, siendo

Entradas: Información puesta a disposición por el Comité Organizador para interactuar con el modelo desarrollado por los equipos. Las entradas también están disponibles para que los equipos no tengan que desarrollar algunas partes esenciales para realizar todos los análisis.

- EPS Virtual: Modelo del Subsistema de Suministro de Energía a desarrollar por los equipos, basado en la Figura 2.
- Salidas: Entregas que los equipos necesitaran hacer.



Figura 3 – Resumen del Desafío.

Así, a partir de las Inscripciones facilitadas por el comité organizador, los equipos deben modelar y simular un EPS (EPS virtual). Para la evaluación de los equipos, los equipos deben proporcionar las salidas, como:

4.1. Entradas

Teniendo en cuenta el escenario operacional de una misión de teledetección, se proporcionarán los siguientes insumos:

- Características de la órbita, basadas en la órbita de los satélites CBERS 3 y 4, como se muestra en la Tabla 2.
- : algunos parámetros para simplificar la implementación del modelo EPS, consulte la Tabla 3, Para descargar este vector, consulte el enlace proporcionado en la Sección 2.4.
- Consumo de potencia de cada subsistema, indicados en la **Tabla 4**.
- Curva de eficiencia del convertidor DC/DC, establecido en la Figura 4.

Tabla 2 – Características de la órbita

Parámetro	Valor
Altitud	778 km
Inclinación	98.504°
Semieje principal (media):	7148.865 km
Excentricidad	1.1 x 10 ⁻³
Argumento del perigeo:	90°
Período orbital	100.26 minutos

Tabla 3 – Espacio de trabajo de Matlab

Variable	Descripción	Simplificación generada
iluminado	<p>Se $iluminado = 1$</p> <p>Entonces <i>El satélite está iluminado por el sol</i></p> <p>Si no, <i>El satélite está en eclipse</i></p>	Con esta variable, no es necesario implementar un propagador de órbita para determinar cuándo el satélite podrá cargar las baterías (iluminado por el sol) y cuándo el satélite debe ser alimentado por las baterías (eclipse).
t_w	Tiempo total de simulación en segundos.	

Tabla 4 – Consumo de potencia.

Variable	Estado	Valor	Unidad	Descripción	Referencia
P_ttec	Encendido	0.48	W	Potencia consumida por el subsistema de comunicación (TT&C)	[DR3]
	Transmitiendo	6			
P_obc	Encendido	0.4	W	Potencia consumida pelo	[DR4]

				computador a bordo	
P_payload	Stand-by	0.38	W	Potencia consumida por la carga útil (Camera)	[DR5]
	Imageando	0.8			
P_adcs	Stand-by	0.45	W	Potencia consumida por el ADCS.	[DR6]
	Em manobra (apuntamiento o estabilizando)	0,85 (*)			

(*) Consumo de cada rueda de reacción.

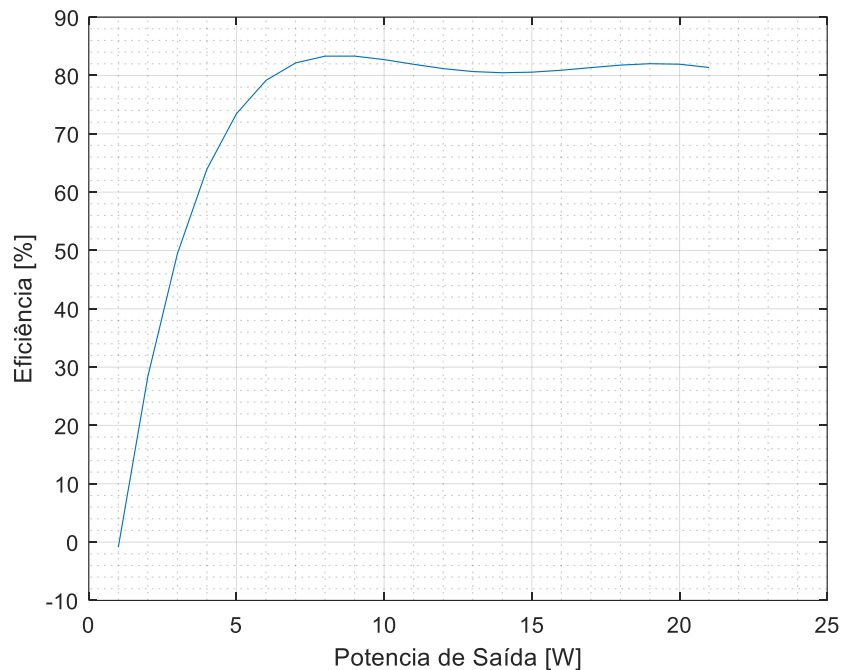


Figura 4 – Curva de eficiência do conversor.

La potencia de salida, indicada en la Figura 4 es la potencia que está siendo demandada en el conversor, conforme puede ser observado en la Figura 5.

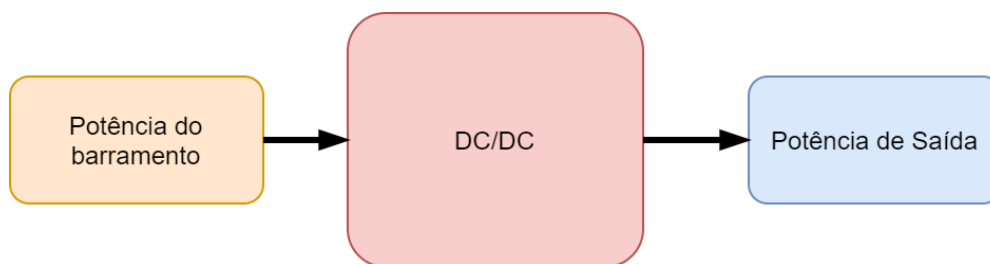


Figura 5 – Diagrama de potencia.

4.2. EPS Virtual

Los equipos deben realizar el modelado EPS utilizando MATLAB / Simulink. Este modelo, que se muestra en la Figura 3 como Virtual EPS, se utilizará para realizar las simulaciones. Los equipos serán evaluados en base a los resultados de estas simulaciones.

El modelaje del EPS, implementado para la simulación, debe considerar lo planteado en la Figura 2:

- Paneles solares (generación)
- Batería (almacenamiento)
- Distribución (bus/conversores)
- Cargas (subsistemas)

Además, el EPS virtual deberá considerar los aspectos descritos a lo largo de esta sección.

4.2.1. Paso de simulación

El paso de la simulación indica el incremento del tiempo en cada iteración de la simulación. Siendo así, los equipos deberán considerar el paso de la simulación de 1 segundo.

4.2.2. Tiempo total de simulación

Los equipos deben usar t_w como el tiempo total de simulación. Este valor corresponde al total de 10 órbitas del satélite CBERS-4.

4.2.1. Situaciones de Simulación

Al predecir un escenario operativo normal, el modelo EPS debe ser único y capaz de cumplir con las características que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 – Perfil de consumo.

Situación ¹	Perfil de consumo	Características
1	Peor caso	Todos los subsistemas consumen su mayor potencia, como se muestra en la Tabla 4.
2	Caso nominal	TT&C consume el máximo de potencia, durante 5% del tiempo en que el satélite está iluminado por el Sol. Esa situación deberá ocurrir toda vez que el satélite sea iluminado por el Sol. Todos los otros subsistemas consumen o máximo de potencia.

4.2.2. Potencia del bus

La potencia del bus es la sumatoria de todas las potencias de los subsistemas que están demandando energía del EPS.

Esta variable debe ser representada Por la variable presentada en la Tabla 6.

¹ En la literatura, puede ver el uso de "Escenario" para describir esta situación. Decidimos utilizar "Situación" para no confundirlo con el "Escenario operativo" del Desafío de requisitos.

Tabla 6 – Potencia del bus

Variable	Descripción
PBus	Potencia del Bus

Para fines del desafío, considere el voltaje del bus igual al voltaje en los terminales de la batería, es decir, un bus no regulado.

El conversor, indicado en la Figura 4, hará la conversión de este voltaje para los niveles de voltaje de cada equipamiento.

4.2.3. Potencia generada

Considere que un panel es el resultado de la interconexión de un conjunto de células solares colocadas a un lado del satélite. Suponiendo que hay tres conjuntos de células solares en tres lados del CubeSat, entonces hay 3 paneles solares.

Los paneles solares tendrán la misma área y deberían generar la misma cantidad de energía.

Tabla 7 – Paneles solares

Variable	Descripción
painel	Potencia que cada panel (conjunto de células en una cara) genera.
PGenerated	Potencia generada por los paneles del satélite.

En la simulación debes considerar que siempre dos lados del CubeSat generarán energía, durante el período en que el satélite esté iluminado por el sol, así:

$$PGenerated = painel * 2$$

4.2.4. Batería

Utilice el factor de carga y descarga de la batería que se muestra en la Tabla 8. Debido a las pérdidas durante la recarga, la batería necesita una compensación para recuperar la carga perdida.

Tabla 8- Fator de carga e descarga da batería.

Factor de descarga	1.0
Factor de carga	1.1

La profundidad de descarga máxima permitida es del 30%.

4.3. Salidas

Esta sección presenta lo que los equipos deben proporcionar al Comité Organizador.

4.3.1. Modelo

En términos del modelo (EPS Virtual), los equipos deberán entregar:

- 1) El modelo implementado en Matlab / Simulink de EPS;
- 2) Todos los archivos necesarios para la ejecución de la simulación del modelo entregado. Los modelos de equipo serán ejecutados por el Comité Organizador.
- 3) Cree un archivo “main.m” que llame a todos los demás archivos, inicie la simulación y ejecútelo automáticamente.
- 4) Además, los equipos deben proporcionar un archivo “VBat.mat”, que contiene el ciclo de carga y descarga de la batería.

4.3.2. Panel solar

- 1) Descripción del panel solar incluyendo: Dimensionamiento del panel solar, con sus características eléctricas y la ficha técnica².

La descripción del panel solar, es decir, el número de paneles del CubeSat y sus características eléctricas, se puede realizar en un documento de texto, con layout libre. El archivo debe proporcionarse en pdf (formato de documento portátil).

² Los equipos deben buscar la hoja de datos de los componentes disponibles en el mercado.

4.3.3. Bateria

Al simular 10 órbitas, considerando el tiempo t_w , el ciclo de carga y descarga de la batería debe tener 59893 puntos. El ciclo de carga y descarga son los niveles de voltaje medidos durante la simulación.

Los equipos deben almacenar el comportamiento de la batería en la variable VBat. Esta variable debe guardarse en el archivo "VBat.mat".

Por lo tanto, sobre la batería, deben proporcionar

- 1) El ciclo de carga y descarga de la batería durante el período determinado en la Sección 4.2.2.
- 2) Descripción de la batería: Dimensionamiento de la batería, con sus características y la ficha técnica³;

La descripción de la batería, es decir, el número de baterías del CubeSat y sus características eléctricas, se pueden realizar en un documento de texto, con layout libre. El archivo debe proporcionarse en pdf (formato de documento portátil).

4.3.4. Presupuesto de energía

Los equipos deben realizar el Presupuesto de Energía considerando las situaciones presentadas en la Sección 4.2.1.

El Presupuesto de energía debe realizarse en formato de tabla y debe contener al menos los siguientes elementos resaltados a continuación:

- Número de paneles solares;
- Energía generada por cada panel;
- Voltaje máximo de su batería o paquete de baterías;
- Voltaje mínimo de su batería o paquete de baterías;
- El consumo de cada equipo en potencia, respetando el ciclo de trabajo de cada situación presentada en la Sección 4.2.1;

³ As equipes deverão buscar o datasheet de componentes disponíveis no mercado.

- El consumo de cada equipo en porcentaje, respetando el ciclo de trabajo de cada situación presentada en la Sección 4.2.1;
- Voltaje para cada equipo.
- Actual de cada equipo;
- Profundidad de descarga de la batería;
- Consumo total de CubeSat.

4.3.5. Consideraciones finales

Prepare las entregas para este desafío en carpetas separadas. Las carpetas deben recibir los nombres indicados en las Secciones 4.3.1 de 4.3.4, respectivamente.

Los equipos deben crear un archivo .zip o .rar general para las carpetas mencionadas en el párrafo anterior.

Se debe enviar un enlace para descargar este archivo a cubedesign@inpe.br hasta la fecha límite para este desafío.

5. Evaluación

La Tabla 9 presenta los ítems de evaluación, siendo:

- OK: el criterio de evaluación se cumple por completo;
- POK: el criterio de evaluación se cumple parcialmente;
- NOK: no se cumple el criterio de evaluación.

Tabla 9 – Criterios de evaluación

Criterio de evaluación	Descripción	Evaluación	Puntuación		
			OK	POK	NOK
Painel solar					
CA1	Modelo del panel solar	El panel solar implementado en la simulación es capaz de cumplir con las situaciones presentadas en la Sección 4.2.1.	15	7.5	0
CA2	Dimensionamiento del panel solar	El dimensionamiento del panel solar presentado en el modelo y el presupuesto de energía son compatibles con la ficha técnica.	5	2.5	0

CA3	Datasheet del panel solar	El datasheet del panel solar fue entregado.	5	0	0
Batería					
CA4	Modelo da batería	La batería implementada en la simulación es capaz de cumplir con las situaciones presentadas en el apartado 4.2.1, respetando el máximo DOD. El error RMS del voltaje durante la situación 1, presentado en la Sección 4.2.1.	10	5	0
CA5(*)	Error de voltaje	El error RMS del voltaje durante la situación 1, presentado en la Sección 4.2.1.	10	5	0
		El error RMS del voltaje durante la situación 1, presentado en la Sección 4.2.1.	10	5	0
CA6	Dimensionamiento da batería	El tamaño de la batería que se muestra en el modelo y el presupuesto de energía son compatibles con la hoja de datos. Se entregó la hoja de datos de la batería (en portugués o inglés). Convertidor	5	2.5	0

		El modelo implementado consideró la eficiencia del convertidor.			
CA7	Datasheet de la batería	El datasheet de la batería fue entregado (en portugués ou inglés).	5	0	0
Convertor					
CA8	Eficiencia del convertor	El modelo implementado consideró la eficiencia del convertor.	10	0	0
Presupuesto de energía					
CA9	Presupuesto de energía (Situación 1)	El Presupuesto de Energía consideró la situación 1, presentó la Sección 4.2.1 y presentó la información listada en la Sección 4.3.4.	10	5	0
CA10	Presupuesto de energía (Situación 2)	El Presupuesto de Energía consideró la situación 2, presentó la Sección 4.2.1 y presentó la información listada en la Sección 4.3.4.	10	5	0
General					
CA11	Automatismo	El equipo proporcionó el archivo "main.m" para que se pueda realizar y verificar toda la simulación EPS en Simulink.	5	0	0

(*): La puntuación se otorgará considerando:

- Correcto: el error fue menor o igual al 10%;
- POK: el error fue superior al 10% e inferior o igual al 30%;
- NOK: error superior al 30%.

El error se medirá utilizando la ecuación:

$$erro = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_{BAT1} - V_{BAT2})^2}$$

Dónde,

N = número de muestras;

V_{BAT1} = Tensión de la batería del modelo de referencia del Comité Organizador;

V_{BAT2} = Voltaje de la batería del modelo desarrollado por los equipos.

En caso de empate, el equipo que obtenga el Error RMS más bajo, en CA5, para la Situación 1, tendrá ventaja.

La Tabla 10 presenta la puntuación máxima que cada equipo puede obtener.

Tabla 10 – Puntuación máxima.

Criterio de evaluación	Descripción	Puntuación
Panel Solar		CA1 + CA2 + CA3 = 25
CA1	Modelo del panel solar	15
CA2	Dimensionamiento del panel solar	5
CA3	Datasheet del panel solar	5
Batería		CA4 + CA5 + CA6 + CA7 = 40
CA4	Modelo de la batería	10
CA5(*)	Error de voltaje	10
		10
CA6	Dimensionamiento de la batería	5
CA7	Datasheet del panel solar	5
Conversor		CA8 = 10
CA8	Eficiencia del conversor	10
Presupuesto de energía		CA9 + CA10 = 20
CA9	Presupuesto de energía (Situación 1)	10
CA10	Presupuesto de energía (Situación 2)	10
General		CA11 = 5
CA11	Automatismo	5
Puntuación máxima		CA1 + CA2 + CA3 + CA4 + CA5 + CA6 + CA7 + CA8 + CA9 + CA10 + CA11 = 100