



**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
OFF-GRID EM UTI'S MÓVEIS PARA FORNECIMENTO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Renato Galbiatti Parminondi

Pós-graduação *Stricto Sensu* em Bioengenharia

São Paulo
2018

Renato Galbiatti Parminondi

ESTUDO DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO *OFF-GRID* EM UTI'S MÓVEIS PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

Dissertação de Mestrado submetida à banca de avaliação da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Bioengenharia.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Souza Ferreira Magalhães

Co-orientador: Prof. Dr. Mauro de Souza Tonelli Neto

São Paulo

2018

P2065e PARMINONDI, Renato Galbiatti

Estudo da viabilidade de um sistema fotovoltaico off-grid em UTI's móveis para fornecimento de energia elétrica. / Renato Galbiatti Parminondi. – São Paulo: Universidade Brasil, 2018.

53 f. il. color.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Souza Ferreira Magalhães

Co-orientador: Prof. Dr. Mauro de Souza Tonelli Neto.

Dissertação de Mestrado submetida à banca de avaliação da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Bioengenharia.

1. Bioengenharia. 2. Energia Fotovoltaica. 3. UTI Móvel.
4. Biológico-Sustentável. I. Título.

CDD 610.28

Termo de Autorização

**Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página
WWW do Respetivo Programa da UNIVERSIDADE BRASIL e no Banco de
Teses da CAPES**

Na qualidade de titular (es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo (amos) a UNIVERSIDADE BRASIL

a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: "ESTUDO DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID EM UTI'S MÓVEIS PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA".

Autor (es):

Discente: Renato Galbiatti Parminondi

Assinatura:



Orientador: Prof. Dr. Daniel Souza F. Magalhães

Assinatura:



Co-orientador: Mauro de Souza Tonelli Neto

Assinatura:



Data: 09/03/2018



TERMO DE APROVAÇÃO

REANTO GALBIATTI PARMINONDI

"ESTUDO DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID EM UTI'S MÓVEIS PARA FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA".

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Bioengenharia da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:

Daniel Magalhães

Prof(a). Dr(a). Daniel Souza Ferreira Magalhães (presidente-orientadora)

Amanda F. F. Barros

Prof(a). Dr(a) Amanda Farage Frade Barros (UNIVERSIDADE BRASIL)

Terigi Augusto Scardovelli

Prof(a). Dr(a). Terigi Augusto Scardovelli (USP)

São Paulo, 09 de março de 2018.

Presidente da Banca Prof(a). Dr(a). Daniel Souza Ferreira Magalhães

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido o dom da vida, pela força, luz e oportunidades dadas a mim para que conseguisse alcançar meus objetivos e, também, a todos aqueles que sempre confiaram em mim, desde sempre.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Daniel Souza Ferreira Magalhães, por depositar em mim a confiança de realização desta pesquisa, pela atenção, dedicação e empenho, além de estar sempre pronto a me ouvir, esclarecer minhas dúvidas nesse meu trabalho. Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Mauro de Souza Tonelli Neto, pela oportunidade de trabalhar ao seu lado, meu respeito e admiração pela sua serenidade e por ser o maior incentivador na superação de meus limites.

Aos meus pais, Oridis Parminondi e Dirce Galbiatti Parminondi, que sempre estiveram ao meu lado dando total apoio e incentivo em minha busca pelo conhecimento e realização de meus sonhos. Às minhas irmãs, Adriana Cristina Galbiatti Parminondi e Andrea Cristina Galbiatti Parminondi, pelo carinho, apoio e incentivo.

À minha esposa, Valéria Silva Parminondi, pelo amor, incentivo, paciência, compreensão e pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incertezas. A Deus por me presentear com a vida de Maria Eduarda Silva Parminondi e Maria Rita Silva Parminondi, minhas filhas amadas do coração.

A Santa Casa de Misericórdia de Votuporanga, por ter permitido a realização do estudo através da disponibilidade para realizar as aulas durante os 2 anos do mestrado.

A Empresa Mobile Car - Unidade de Terapia Móvel, através do Dr. Mauro Esteves Hernandez e toda sua diretoria, pelo apoio e liberação da UTI Móvel para fazer o estudo e desenvolvimento do projeto.

A Empresa Solatio Energia Gestão de Projetos Ltda - ME pelo apoio com relação as informações, equipamentos e tecnologia na definição do projeto.

RESUMO

A Unidade de Tratamento Intensivo (UTI) móvel é de vital importância, pois fornece atendimento diferencial no suporte a vida, é composta por um conjunto de equipamentos e recursos humanos especializados que favorecem no cuidado imediato e ininterrupto do paciente crítico, minimizando os riscos de traumas e sequelas. Dentre as fontes renováveis de energia, destaca-se o sistema fotovoltaico, o qual necessita de pequeno espaço e possui preço acessível na instalação para qualquer tipo de consumidor. Além disso, em um país tropical com grande incidência de radiação solar, cada vez mais tem-se observado o uso da energia fotovoltaica. Grandes centros de pesquisas têm buscado novas aplicações para esta fonte energética. Considerando seu caráter emergencial e a necessidade de confiabilidade da alimentação dos equipamentos de uma UTI móvel, o desenvolvimento e inserção de um sistema fotovoltaico *off-grid* (autônomo) se torna possível e necessário, elevando as condições de segurança e eficiência operacionais dos aparelhos, caso ocorra uma falha no motor à combustão responsável pela conversão de energia mecânica em elétrica, nesse caso a bateria dos equipamentos médicos deixa de ser carregada gerando problema no atendimento ao paciente, instantaneamente o sistema fotovoltaico *off-grid* entra em operação para fornecer o suporte necessário (*backup*) aos profissionais e, mais importante, podendo elevar o número de vidas salvas com os procedimentos médicos iniciais sem qualquer tipo de interrupção de energia no funcionamento dos aparelhos. Desta forma, a partir de uma parceria com o Governo Municipal, Santa Casa de Misericórdia de Votuporanga, uma empresa do setor solar e uma empresa de UTI Móvel será desenvolvido um sistema fotovoltaico que atenderá a interrupção de energia do motor do veículo com a inclusão das placas solares que é capaz de suprir a falta de energia da bateria existente. O desenvolvimento do projeto será efetuado nas seguintes etapas: coleta de informações acerca das características física e estrutural da UTI móvel, identificação dos equipamentos instalados na UTI móvel, levantamento da área disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos no teto da UTI móvel e dimensionamento da bateria de *backup* solar. Após será efetuado uma análise das fontes de alimentação já instaladas na UTI móvel. Atualmente, possui duas baterias: bateria do motor e bateria dos equipamentos médicos. O alternador elétrico, acionado pelo motor de combustão do veículo, realiza a recarga das duas baterias existente. Caso ocorra uma pane mecânica ou elétrica, a bateria dos equipamentos médicos deixa de ser carregada, podendo gerar um grande problema caso esteja em atendimento de paciente. Uma terceira bateria (com as mesmas especificações da segunda) será inserida na ambulância. Sua recarga será feita pelo sistema fotovoltaico *off-grid* e alimentará os equipamentos médicos somente quando a segunda bateria entra em colapso e se descarrega por completo, elevando a autonomia dos equipamentos da UTI, tem-se uma bateria que independe da operação do alternador elétrico para recarregar, tornando o sistema mais confiável. Portanto a importância do trabalho será no atendimento dos pacientes no caso de pane no veículo UTI no trajeto para o atendimento as vítimas, onde as distâncias entre cidades forem muito longas e demoraria a chegar o socorro às vítimas e do veículo danificado. Nesse contexto o sistema fotovoltaico *off-grid* que será instalado através da bateria solar alimentado pelas placas solares afixada no teto do veículo UTI Móvel terá uma autonomia de aproximadamente 4 horas para permanecer ligado os equipamentos elétricos atendendo os pacientes até a chegada do socorro. Portanto o estudo se torna viável pela simplicidade e custo baixo, a implementação desse sistema fotovoltaico representa 2% do valor do veículo UTI Móvel nova. Com isso garante o atendimento aos pacientes com segurança e confiabilidade.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica. UTI Móvel. Biológico-Sustentável.

ABSTRACT

The mobile ICU has vital importance, as it provides differential care in life support, which is composed by a set of equipment and specialized human resources that favor the immediate and uninterrupted treatment of the critical patients, minimizing the trauma and sequelae risks. Among the renewable energy sources, the photovoltaic system is highlighted, which needs a small space and it is costly accessible for any type of consumer. In addition, in a tropical country with a high solar radiation incidence, the use of photovoltaic energy has been increasingly observed. Large research centers have been looking for new applications for this energy source. Considering the emergency nature and the need for reliability of the equipment operation in a mobile ICU, the construction and insertion of an off-grid photovoltaic system in the mobile ICU becomes possible and necessary, increasing the operational safety and efficiency, with a fault in the combustion engine responsible for the conversion of mechanical to electric energy, the off-grid starts instantly its operation to provide the necessary backup to professionals and, more importantly, to increase the number of saved lives without any interruption in the apparatus functioning. Thus, from a partnership with the Municipal Government, Santa Casa de Misericórdia de Votuporanga, a solar company and a mobile ICU company, it will be developed a photovoltaic system that will attend to the power interruption of the motor of the vehicle with the inclusion of solar panels those are able to supply the lack of energy of the existing battery. The development of the project will be carried out in the following stages: the collection of information about physical and structural characteristics of the mobile ICU, identification of the equipment installed in the mobile ICU, survey of the available area for the installation of the photovoltaic modules in the mobile ICU roof and the sizing of the solar backup battery. After that, it will be done an analysis of energy sources already installed in the mobile ICU. It currently features two batteries: engine battery and medical equipment battery. The electric alternator, powered by the combustion engine of the vehicle, recharges the existing batteries. In the event of a mechanical or electrical malfunction, the battery of medical equipment is no longer charged and could cause a big problem if it is in patient care. A third battery (same specifications as the second) will be inserted into the ambulance. The recharge will be done by the off-grid photovoltaic system providing energy to medical equipment only when the second battery collapses and completed discharged, increasing the autonomy of the equipment of the ICU, it has a battery independent of the operation of the electric alternator to recharge, making the system more reliable. Therefore the importance of the work will be in the care of the patients in the event of a break in the ICU vehicle on the way to the care of the victims, which the distance between cities is very long and it would take the relief to the victims and the damaged vehicle. In this context, the off-grid photovoltaic system that will be installed through the solar battery powered by solar panels affixed to the roof of the vehicle, the Mobile ICU will have an autonomy of approximately 4 hours for the permanence of the electrical equipment in which the patient is subjected to a help. Therefore, the system becomes viable due to its simplicity and low cost, the installation of the photovoltaic system represents 2% of the value of the new Mobile ICU vehicle. This ensures patient care with safety and reliability

Keywords: Photovoltaic energy. Mobile ITU. Biological-Sustainable.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	9
RESUMO	11
ABSTRACT	13
SUMÁRIO.....	15
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 OBJETIVO	19
2.1 Objetivo geral	19
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1 Energia Fotovoltaica.....	21
3.1.1 Células Fotovoltaicas.....	21
3.1.2 Influência da Intensidade do Sol e Temperatura	22
3.1.3 Arranjos Fotovoltaicos	22
3.1.4 Sombreamento de Módulos Fotovoltaicos	24
3.1.5 Aplicação dos Sistemas Fotovoltaicos Autônomos.....	24
3.1.6 Componentes de um Sistema Fotovoltaico Autônomo	25
4 RELEVÂNCIA DO TEMA E ESTADO ATUAL DA ARTE.....	27
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
5.1 Características Física e Estrutural da UTI Móvel.....	31
5.2 Equipamentos Instalados na UTI Móvel	31
5.3 Área Disponível para Instalação dos Módulos Fotovoltaicos na UTI Móvel	31
5.4 Dimensionamento da Bateria de Backup	31
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
6.1 Levantamento físico e estrutural do veículo da UTI móvel	37
6.2 Identificação dos equipamentos instalados na UTI móvel	40

6.2.1 Bomba de Infusão	41
6.2.2 Ventilador Pulmonar portátil	41
6.2.3 Desfibrilador	42
6.2.4 Aspirador elétrico.....	43
6.2.5 Monitor multiparametro	43
6.3 Levantamento da área disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos no teto da UTI móvel e dimensionamento da bateria de <i>backup</i>	44
7 CONCLUSÕES	47
8 TRABALHOS FUTUROS	49
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

O atendimento pré-hospitalar (APH) é a primeira assistência fornecida a uma pessoa em caso de urgência/emergência e que precisa de atendimento imediato antes de sua chegada ao ambiente hospitalar, sendo um importante elemento de assistência a vida humana, pois contribui para manter os sinais vitais do paciente. Diversos são os meios de prestar o atendimento pré-hospitalar, porém, no Brasil os mais utilizados ainda são as ambulâncias comuns, por exemplo, Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) [1].

O Ministério da Saúde tem buscado individualmente, de forma estruturada, desenvolver ações para priorizar o atendimento pré-hospitalar, assim como Projeto de Lei que é de iniciativa de autoridades políticas e prevê a estruturação de Unidades de Terapia Intensiva (UTI) em locais de lazer frequentados pela população, pois as ambulâncias comuns não são equipadas para atender casos mais graves [2].

As UTI's Móveis são ambulâncias assim como o SAMU, porém, é composta por equipamentos de alta precisão e recursos humanos especializados para atender pacientes que se encontram em situações críticas as quais colocam sua vida em risco necessitando de atendimento ininterrupto e imediato. Além do mais, o problema consiste no fato de muitas pessoas terem suas vidas ceifadas pela falta de atendimento pré-hospitalar de qualidade que responda as necessidades solicitadas naquele momento, já que a primeira hora após o ocorrido é considerada pelos profissionais de saúde como “hora de ouro” [3].

Entende-se que se a inserção de instrumentos especializados e recursos humanos capacitados na área de saúde contribuem para minimizar os traumas, morbidade e mortalidade da população. Uma pessoa que se encontra entre a vida e a morte exige cuidados não apenas de profissionais capacitados, mas principalmente de equipamentos avançados que forneçam todo apoio ao atendimento prestado [2].

A UTI Móvel é de vital importância pois fornece atendimento diferencial no suporte a vida, é composta por um conjunto de equipamentos, por exemplo, monitores cardíacos, oximetria de pulso, eletrocardiográfico, ventilador pulmonar a pressão, bomba de infusão, ressuscitador, termômetro e recursos humanos especializados, que favorecem no cuidado imediato e interrupto do paciente crítico, o que minimiza seus riscos de traumas e sequelas, o que torna favorável para responder as necessidades solicitadas [2, 3].

Considerando o caráter emergencial e a necessidade de confiabilidade da alimentação dos equipamentos de uma UTI móvel, o desenvolvimento e inserção de um sistema fotovoltaico

off-grid na UTI móvel se torna possível e necessário, elevando as condições de segurança e eficiência operacionais dos aparelhos, caso ocorra uma falha no motor à combustão responsável pela conversão de energia mecânica em elétrica o sistema *off-grid* entra instantaneamente em operação para fornecer o suporte necessário aos profissionais e, mais importante, podendo elevar o número de vidas salvas com os procedimentos médicos iniciais aplicados em uma UTI móvel sem qualquer tipo de interrupção no funcionamento dos aparelhos [1, 2].

Dentro desta perspectiva, este trabalho visa reduzir o problema do fornecimento de energia através de uma fonte auxiliar renovável para *backup* na alimentação dos equipamentos nas UTIs Móveis caso estas sofram falhas mecânicas, elétrica ou acidentes de trânsito durante o trajeto para o hospital que interrompam a alimentação elétrica principal dos equipamentos médicos. Dentre as fontes renováveis que são recursos que não é limitado e nessa categoria destacam-se os biocombustíveis, nuclear, geotérmica, maremotriz, termoelétrica, hidrelétricas, solar e eólica, destaca-se o sistema fotovoltaico, o qual necessita de pequeno espaço e possui preço acessível na instalação em qualquer tipo consumidor [4].

Por ser um país tropical com grande incidência de radiação solar, cada vez mais tem-se observado o uso da energia fotovoltaica e, com isso, empresas especializadas do setor vêm buscando no Brasil parcerias para implantação das usinas fotovoltaicas. Estas usinas são totalmente sustentáveis, já que funcionam a partir de uma fonte energética gratuita e limpa, o sol, e não geram nenhum tipo de resíduos. Além das usinas fotovoltaicas, os grandes centros de pesquisas têm buscado novas aplicações para esta fonte energética, como o desenvolvimento de carros elétricos carregados por energia fotovoltaica, implantação de estacionamentos fotovoltaicos, sistemas de irrigação distante dos grandes centros, entre outros [4, 5].

Esta dissertação está inserida no contexto biológico-sustentável, sendo execução possível em virtude de uma parceria do governo municipal de Votuporanga (representado pela Santa Casa de Votuporanga), uma empresa do setor solar já instalada na cidade de Votuporanga (Solatio Energia) e a Empresa Mobile Car - Unidade de Terapia Móvel, onde será avaliado o impacto técnico-econômico do uso da energia fotovoltaica nas Unidades de Tratamento Intensivo (UTIs) móveis da cidade. A proposta por este projeto de pesquisa se deve exclusivamente à não existência de nenhum trabalho abordando o tema, com a aplicação da energia fotovoltaica nas UTIs móveis. Então, por ser uma abordagem inédita, tem-se um grande potencial inovador e de grande contribuição para com a sociedade.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Desenvolver o estudo da viabilidade de um sistema fotovoltaico *off-grid* em UTI Móvel

2.2 Objetivo específico

Levantar a área disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos no teto da UTI Móvel para obter melhor aproveitamento com relação a área útil do veículo.

Dimensionar a bateria de *backup* de acordo com a carga dos equipamentos e fontes de alimentação já instalados na UTI Móvel.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Energia Fotovoltaica

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano. Quando se fala em energia, deve-se lembrar de que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra [5].

3.1.1 Células Fotovoltaicas

O efeito fotovoltaico é o fenômeno físico que permite a conversão direta da luz em eletricidade. Esse fenômeno ocorre quando a luz (radiação eletromagnética do sol) incide sobre uma célula composta de materiais semicondutores com propriedades específicas. A figura 1 mostra a estrutura de uma célula fotovoltaica composta por duas camadas de material semicondutor P e N, uma barra de coletores metálicos superior e uma base metálica inferior [6].

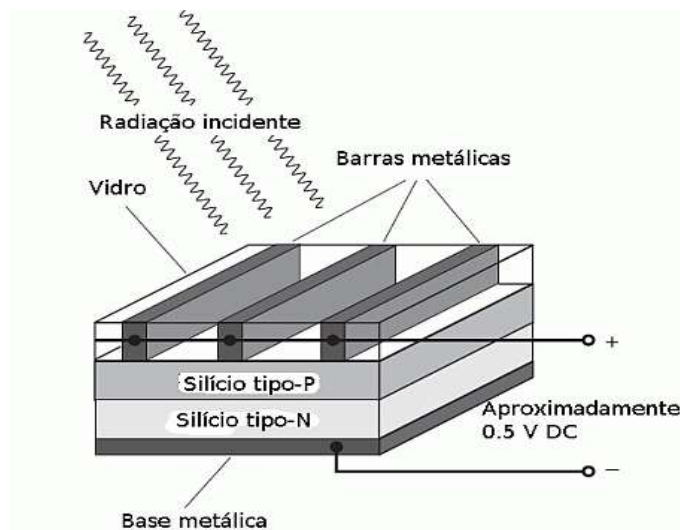


Figura 1 - Estrutura de uma célula fotovoltaica [7]

A maioria das células fotovoltaicas são fabricadas pelo material silício pois é abundante e barato. Uma célula fotovoltaica é composta tipicamente pela junção de duas camadas de material semicondutor, um tipo P e a outra N, quando são colocadas em contato formam o que se chama junção semicondutora. A união das duas camadas provoca a mudança dos elétrons e

lacunas de uma camada para outra onde origina um campo elétrico e cria uma barreira de potencial entre as duas camadas. Uma parte dos elétrons acaba sendo aprisionada pelas lacunas que existem na camada N, entretanto uma grande parte deles fica livre para formar a corrente elétrica quando um condutor elétrico forma um circuito entre as duas camadas [5, 6, 8, 9].

A corrente elétrica produzida pela célula fotovoltaica, quando exposta à luz, pode ser usada numa infinidade de aplicações, alimentando aparelhos, carregando baterias ou fornecendo eletricidade. Uma célula fotovoltaica sozinha produz pouca energia e apresenta uma tensão elétrica muito baixa. Assim, várias células podem ser ligadas em série para fornecer uma grande quantidade de energia elétrica e uma tensão mais elevada [5].

3.1.2 Influência da Intensidade do Sol e Temperatura

Os principais fatores que influenciam na operação de um módulo fotovoltaico são: intensidade da radiação solar e temperatura de operação [5].

A corrente elétrica que o módulo fotovoltaico pode fornecer depende diretamente da intensidade da radiação solar que incide sobre suas células. A corrente máxima que o módulo pode fornecer varia proporcionalmente à irradiância. Com pouca luz a corrente fornecida pelo módulo é muito pequena e sua capacidade de gerar energia é severamente reduzida. Como a intensidade da radiação solar muda a cada instante em função da rotação da terra e sua translação ao redor do sol, a corrente gerada pelo módulo será máxima na incidência de radiação máxima. Com menores intensidades de radiação solar para dias nublados, a corrente produzida diminuirá na mesma proporção [5, 10].

A temperatura tem influência na tensão que o módulo fornece em seus terminais e, conseqüentemente, na potência fornecida. Em temperaturas mais baixa as tensões são maiores e em temperaturas mais altas são menores. Já corrente fornecida pelo módulo não se altera com a temperatura [10].

3.1.3 Arranjos Fotovoltaicos

Dispositivos fotovoltaicos podem ser associados em série e/ou em paralelo, de forma a se obter os níveis de corrente e tensão desejados. Tais dispositivos podem ser células, módulos ou arranjos fotovoltaicos. Os arranjos são constituídos de um conjunto de módulos associados eletricamente em série e/ou paralelo, de forma a fornecer uma saída única de tensão e corrente [5].

Conjuntos com mais de dez módulos em série são comuns em sistemas conectados à rede elétrica, que operam com tensões mais elevadas. Quando os módulos são conectados em série a tensão de saída do conjunto corresponde à soma da tensão fornecida por cada um dos módulos. A corrente que circula pelo conjunto é a mesma em todos os módulos [6].

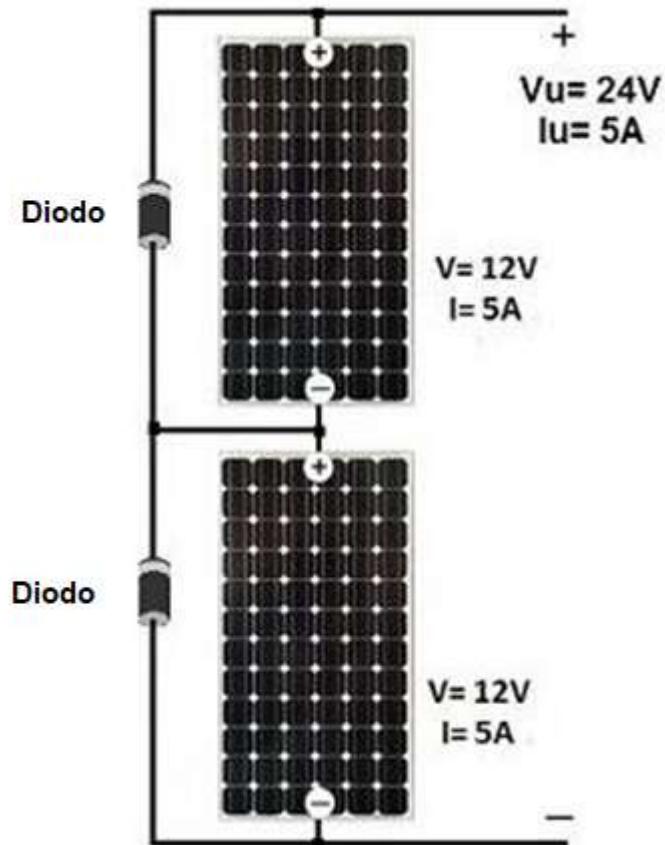


Figura 2 - Módulos ligados em série [11].

Conjuntos de módulos em paralelo são comuns em sistemas fotovoltaicos autônomos, que operam em tensões baixas. A tensão de saída do conjunto é a mesma tensão fornecida por um módulo individual, porém a corrente fornecida pelo conjunto é a soma das correntes dos módulos do conjunto [5, 6].

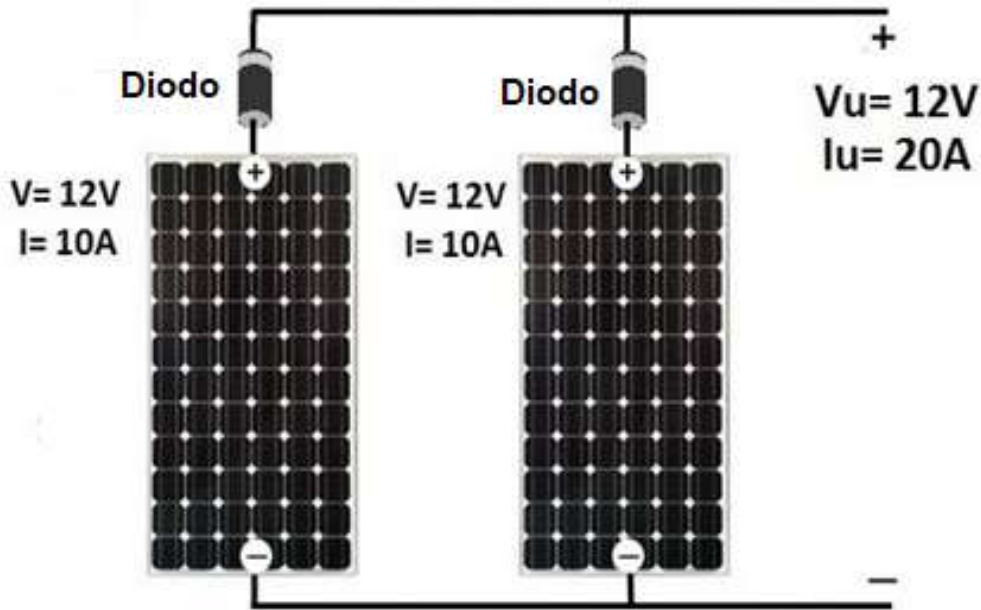


Figura 3 - Módulos ligados em paralelo [12]

3.1.4 Sombreamento de Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico sujeito a uma sombra causada por um obstáculo pode deixar de produzir energia mesmo se apenas uma de suas células estiver recebendo pouca luz. O efeito do sombreamento é bastante prejudicial aos sistemas fotovoltaicos. A localização dos módulos fotovoltaicos deve ser cuidadosamente escolhida para que não ocorram sombras sobre suas superfícies. Para minimizar o efeito do sombreamento nos módulos fotovoltaicos, os fabricantes adicionam diodos de *bypass* ligados em paralelo com as células. O ideal seria existir um diodo para cada célula do módulo, mas isso teria um custo muito alto e tornaria difícil a fabricação dos módulos [10].

Com o uso do diodo de *bypass*, mesmo que uma das células esteja escurecida e produzindo pouca corrente, as outras células do módulo podem continuar produzindo corrente, pois a célula problemática é desviada pelo diodo em paralelo, melhorando a produção de energia do módulo fotovoltaico em caso de sombreamento ou escurecimento parcial de suas células [10].

3.1.5 Aplicação dos Sistemas Fotovoltaicos Autônomos

Um sistema fotovoltaico isolado (*off-grid*) é aquele que não está em contato com a rede elétrica da concessionária. Atualmente, a utilização dos sistemas fotovoltaicos *off-grid* tem como objetivo levar energia elétrica a localidades não atendidas pela rede elétrica ou para

manter algum equipamento fora da rede, de forma a continuar operando mesmo quando há falta de energia na rede pública [5, 6].

A energia excedente produzida por este tipo de sistema é armazenada em baterias e utilizada pelo sistema em momentos de pouca ou nenhuma incidência de sol, como os períodos noturnos. Dessa forma, como as baterias são a fonte de energia reserva do sistema, deve-se pensar em adquirir baterias com espaço de armazenamento de energia suficiente para manter a residência, tendo como base a demanda da casa e as condições climáticas locais [5, 6].

3.1.6 Componentes de um Sistema Fotovoltaico Autônomo

Um sistema fotovoltaico é geralmente composto de uma placa ou um conjunto de placas fotovoltaicas, um controlador de carga, uma bateria e conforme a aplicação, um inversor de tensão contínua para tensão alternada [10, 13].

Os módulos fotovoltaicos produzem corrente contínua, sendo necessário converter essa corrente contínua em corrente alternada para alimentar lâmpadas, aparelhos eletrodomésticos, computadores ou qualquer outro equipamento que normalmente é alimentado pelas redes elétricas de corrente alternada. É requerido o uso de baterias sempre empregado em conjunto com um controlador de carga que nada mais é do que um carregador de bateria para aplicações que utilizam sistemas fotovoltaicos [6, 10].



Figura 4 - Componentes do sistema fotovoltaico autônomo [14]

A bateria, conjuntamente com o módulo fotovoltaico, fornece tensão e corrente para a alimentação de um inversor ou de aparelhos que podem ser alimentados diretamente em tensão contínua. A conexão dos consumidores deve ser feita ao controlador, pois assim o controlador mantém o rígido controle sobre a bateria, podendo desconectar os consumidores quando o nível da carga da bateria é crítico. Sem a presença do controlador de carga as baterias danificam-se e têm seu tempo de vida muito reduzido [15].

Os sistemas fotovoltaicos obrigatoriamente necessitam de baterias, portanto, há necessidade de um controlador de carga, onde sua principal função é fazer a correta conexão entre o painel fotovoltaico e a bateria evitando que a bateria seja sobrecarregada ou descarregada excessivamente. Os controladores carregam as baterias respeitando a curva de carga, o que tende a aumentar e maximizar a utilização da mesma [6].

O inversor é outro equipamento necessário para esse sistema, onde esse dispositivo eletrônico converte corrente contínua em corrente alternada. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor de ponto de máxima potência necessário para otimização da potência final produzida. O inversor é necessário nos sistemas fotovoltaicos para alimentar equipamentos em corrente alternada a partir de energia elétrica de corrente contínua produzida pelo painel fotovoltaico ou armazenada na bateria [16].

O controlador de carga é necessário para prolongar a vida útil, protegendo de sobrecarga ou descargas excessivas. Nos sistemas autônomos a geração de energia elétrica e o consumo nem sempre coincide devido as condições climáticas intermitentes e aleatórias no que tange a radiação solar ao longo das horas, minutos e segundos [14].

Sendo assim o uso de baterias ou banco de baterias se faz necessária para fornecer energia constante e para evitar desperdício de energia quando o consumo é baixo, permitindo o armazenamento para uso posterior em momentos que tiver pouca ou nenhuma radiação solar, períodos noturnos, dias nublados ou chuvosos [14].

Sem a presença do controlador de carga as baterias danificam-se e têm seu tempo de vida muito reduzido. Nos sistemas fotovoltaicos com baterias é essencial a presença de um controlador de carga conectado entre a bateria e o painel fotovoltaico [6].

4 RELEVÂNCIA DO TEMA E ESTADO ATUAL DA ARTE

A seguir são apresentadas, em ordem cronológica, as publicações mais relevantes em relação à aplicação de sistemas fotovoltaicos em ambientes hospitalares e locais remotos, com a finalidade de prover atendimento à população [17].

Uma modelagem e análise de custos de uma rede de 500 kW de energia fotovoltaica, que foi instalada para fornecer energia à uma fábrica têxtil localizada em uma província de Kahramanmara. Os resultados sugerem que o gerador fotovoltaico instalado em agosto de 2013 produz 816639 MWh de energia e atinge seu custo inicial em 6,23 anos. Portanto, os geradores fotovoltaicos são significativamente úteis quando as condições climáticas em Kahramanmara são consideradas [17].

A necessidade de eletricidade nas áreas rurais no sul do Iraque, propondo a utilização de um sistema fotovoltaico para alimentar uma Clínica de Saúde nessa região. A carga diária total desta clínica é de 31,6 kW, sendo cada uma das cargas listadas no trabalho. Através de uma análise técnica e econômica é mostrado que o custo inicial do sistema, o custo presente líquido e o custo da eletricidade são US\$ 50700,00; US\$ 60375,00; e US\$ 0,238, respectivamente. Estes valores são usados para efeito de comparação entre o sistema fotovoltaico e um gerador alimentando a mesma carga instalada. O custo inicial, o custo atual líquido e o custo da eletricidade do gerador são US\$ 4500,00; US\$ 352303,00; e US\$ 1332,00, respectivamente. Assim, conclui-se que o uso do sistema fotovoltaico é justificado por motivos humanitários, técnicos e econômicos [18].

O maior centro de energia solar do mundo, que abriu suas portas no Haiti e possui mais de 1800 painéis solares no seu telhado. Na região específica de Mirebalais, as interrupções de energia ocorrem por uma média de três horas por dia. O hospital abrange uma área de 1904 metros quadrados e seus 300 leitos ajudam o sistema nacional de saúde, que possui recursos escassos ou díspares. Mesmo antes do complexo abrir oficialmente, os painéis solares já produzem 139 MWh, o suficiente para cobrir 22 milhões de smartphones e compensar 72 toneladas de carvão [19].

O Brasil possui uma posição geográfica privilegiada para explorar a luz solar, discorrem acerca do uso de células solares na produção de energia elétrica, já que é uma fonte limpa e gera menores danos ao meio ambiente. Além disso, os autores abordam tecnologia fotovoltaica aplicada aos hospitais, onde, mesmo executando serviços de total importância à sociedade, apresentam potencial poluidor capaz de causar danos à saúde das pessoas e ao meio ambiente

que se localiza ao seu redor. Estimativas destacam que as reservas brasileiras de petróleo sejam suficientes para 22 anos, tornando-se necessária a busca por novas fontes alternativas para a geração de energia [2].

Uma proposta para utilização de energia fotovoltaica na eletrificação rural de domicílios isolados do estado do Amazonas, os quais não apresentam viabilidade técnico-econômica para serem atendidos com a extensão das linhas de distribuição existentes. Para isso, dimensionou-se um sistema fotovoltaico autônomo que foi aplicado a um modelo de atendimento obtido a partir da literatura, que indicou um potencial de uso da energia fotovoltaica em cerca de 20 mil domicílios, isolados ou reunidos. O custo estimado é da ordem de R\$ 300 milhões e semelhante ao do atendimento pela extensão das redes, representando cerca de 9,5% dos custos totais previstos para a eletrificação rural do estado. Além disso, a energia fotovoltaica na eletrificação rural pode vir a auxiliar na adoção dessa energia na matriz energética nacional [20].

A faixa de Gaza foi transformada em uma zona de guerra entre Israel e a Palestina. Como resultado, a economia está em ruínas e os principais serviços, como eletricidade e água, operam em níveis extremamente baixos. É mencionado também que médicos da faixa de Gaza veem a situação como da eletricidade como catastrófica. No entanto, estes veem como solução a implantação de um sistema fotovoltaico para fornecer energia elétrica 24 horas por dia nas salas de emergência, salas de operação e unidades de terapia intensiva de quatro hospitais públicos de Gaza. Através da campanha *Indiegogo* da Empower GAZA fundos estão sendo levantados para cobrir os custos deste projeto, que possuem valores entre US \$ 200000 e US \$ 600000 [21].

O estudo mostra que os principais fatores que afetam a implantação de aplicações de energia solar nas áreas rurais são: presença de mercado de produtos de sistemas fotovoltaicos, disponibilidade de mecanismos de financiamento, conscientização da importância social, reputação do fornecedor na região e manutenção. Embora o subsídio de capital inicial ajude na aceitação do produto/serviço, seu uso sustentável é observado apenas quando os usuários contribuíram total ou substancialmente para o mesmo [22].

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede que alimentam fazendas familiares agrícolas, avaliando seu desempenho energético. O estudo foi realizado em fazendas de gado no distrito de Chlef (noroeste da Argélia). Uma fazenda típica na região noroeste da Argélia foi escolhida para determinar o perfil de carga de acordo com as contas elétricas mensais. Resultados mostraram que 49% do consumo total de eletricidade na fazenda era de energia renovável. Além disso, foi realizada uma análise para investigar o desempenho da introdução do sistema fotovoltaico na fazenda [23].

Os meios de transportes convencionais têm impacto relevante na vida das pessoas, as quais dependem do modelo atual para realização de suas atividades rotineiras. Famílias de classe média dispendem até 20% de sua renda com transportes e, por outro lado, veículos de combustão interna emitem gases que contribuem para o efeito estufa, são de baixa eficiência, com no máximo 30% de aproveitamento. Em oposição, veículos elétricos possuem até 90% de eficiência e não emitem gases de efeito estufa diretamente. Desta forma, o autor realiza a análise de um sistema propulsor elétrico de baixo custo, alimentado por fonte fotovoltaica a ser instalado em um veículo de estrutura em PVC. A utilização dessa fonte de energia renovável possibilita a implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica, armazenada em baterias de chumbo-ácido, utilizadas em veículos à combustão. Após análise por matriz de decisão, foi determinado o modelo mais adequado que atende à proposta de forma econômica e avaliados motores elétricos de corrente contínua, encontrados em veículos convencionais [24].

Os principais problemas enfrentados pelos sistemas fotovoltaicos são principalmente aplicados na eletrificação rural no Brasil. A metodologia baseou-se na observação de campo e pesquisa de literatura. Como resultado, várias questões de demanda (instalação, operação, manutenção e pós-instalação) a serem fornecidas foram identificados. A partir destas observações fica claro que uma maior atenção deve ser dada à gestão de todo o projeto de eletrificação, delimitando claramente os objetivos e as responsabilidades de cada um dos envolvidos [16].

Os trabalhos apresentados anteriormente mostram a importância da energia renovável, em especial do sistema fotovoltaico, no atendimento de demandas em regiões onde o fornecimento de energia elétrica é complexo, seja para fins hospitalares, agropecuários ou residenciais. No caso da UTI móvel, o sistema fotovoltaico, além de ser uma fonte energética limpa e proveniente de recursos renováveis, vem a reduzir o impacto ambiental e emissão de carbono, atendendo a sociedade de forma confiável, eficiente e segura [25].

O trabalho apresentado é novo, pois não existem nas redes hospitalares utilização de sistema fotovoltaico *off-grid* para atender, como *backup*, a falta de energia elétrica que pode ocorrer na alimentação dos equipamentos da UTI Móvel, principalmente onde o veículo percorre longas distâncias para atender pacientes no primeiro atendimento, portanto a utilização de baterias solares como *backup* e com autonomia de uso de aproximadamente quatro horas, elevando as condições de segurança e eficiência dos equipamentos e podendo aumentar o número de vidas salvas.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto refere-se ao estudo de desenvolvimento de um sistema fotovoltaico *off-grid* em UTI's móveis para o fornecimento de energia elétrica objetivando a solução do problema de interrupção do fornecimento de energia. Este projeto emprega uma fonte renovável de energia, a fotovoltaica, para alimentar uma nova bateria que funcionará como *backup* da alimentação principal dos equipamentos, elevando a autonomia, confiabilidade e eficiência no atendimento aos pacientes. As etapas inerentes ao desenvolvimento do projeto são: coleta de informações acerca das características física e estrutural da UTI móvel, identificação dos equipamentos instalados na UTI móvel, levantamento da área disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos no teto da UTI móvel e dimensionamento da bateria de *backup*. Estas etapas do desenvolvimento estão descritas detalhadamente nas seções a seguir.

5.1 Características Física e Estrutural da UTI Móvel

Foi efetuado o levantamento completo da estrutura física disponível dentro de uma UTI móvel através das medidas e dos itens existentes dentro do veículo.

5.2 Equipamentos Instalados na UTI Móvel

Efetuoou o levantamento completo dos equipamentos elétricos disponíveis em uma UTI móvel para utilizar no dimensionamento da bateria auxiliar.

5.3 Área Disponível para Instalação dos Módulos Fotovoltaicos na UTI Móvel

Foi utilizado uma trena para efetuar as medidas externa do veículo visando a instalação das placas solares, verificando a área útil do teto para instalação das mesmas.

5.4 Dimensionamento da Bateria de Backup

Para realizar o dimensionamento da bateria de backup, foi efetuado uma análise das fontes de alimentação já instaladas na UTI móvel. Atualmente, possui duas baterias: bateria do motor e bateria dos equipamentos médicos. A bateria do motor é responsável única e

exclusivamente pela alimentação dos itens elétricos que compõem o veículo, ou seja, luminárias, faróis, sinalização, entre outros. Já a segunda bateria, por possuir um tamanho maior, é responsável por alimentar todos os equipamentos médicos. O alternador elétrico, acionado pelo motor de combustão, realiza a recarga das duas baterias. Caso ocorra uma pane mecânica, a bateria dos equipamentos médicos deixa de ser carregada, podendo gerar um grande problema caso esteja em atendimento de paciente.

Neste contexto, uma terceira bateria (com as mesmas especificações da segunda) foi inserida na ambulância. Sua recarga foi feita pelo sistema fotovoltaico *off-grid*, e alimentou os equipamentos médicos somente quando a segunda bateria entra em colapso e se descarrega por completo. Assim, além de elevar a autonomia dos equipamentos da UTI, tem-se uma bateria que independe da operação do alternador para recarregar, tornando o sistema mais confiável. O esquema abaixo mostra como estas baterias operam na alimentação de todos os itens da UTI móvel.

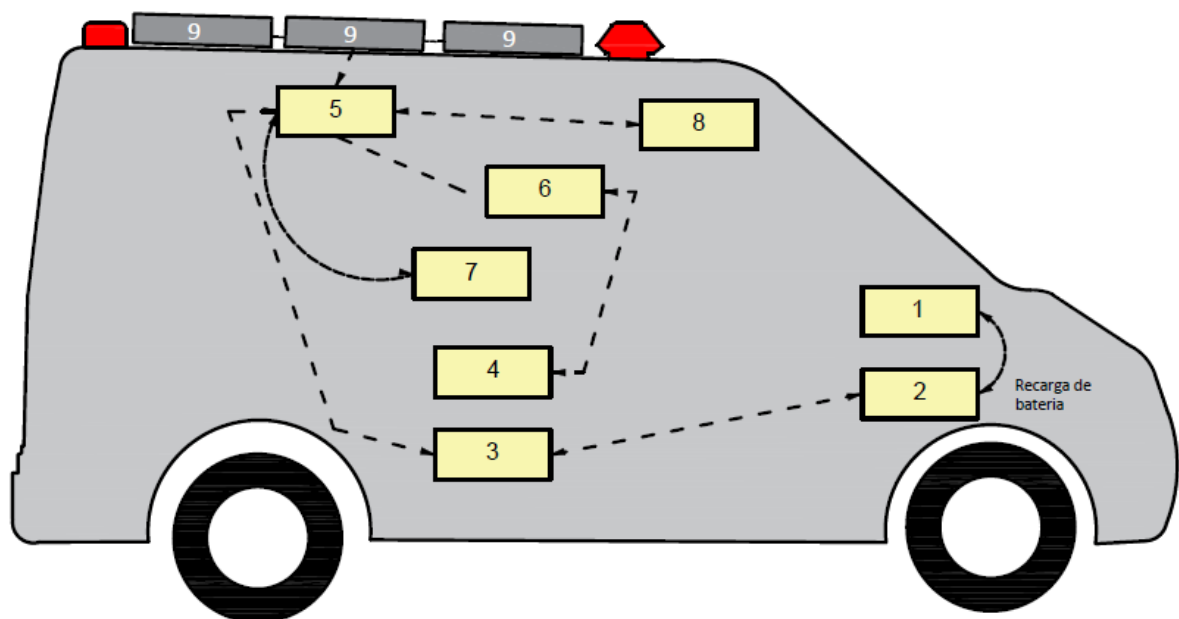


Figura 5 - UTI Móvel com fluxograma das instalações
Fonte: Autor, 2017.

- 1 - Bateria motor veículo (UTI) 90 Ah
- 2 - Alternador elétrico
- 3 - Bateria existente (100 Ah) (atender equipamentos elétricos)
- 4 - Equipamentos elétricos
- 5 - Controlador de carga
- 6 - Inversor
- 7 - Bateria Solar
- 8 - Chave de transferência
- 9 - Módulo solar

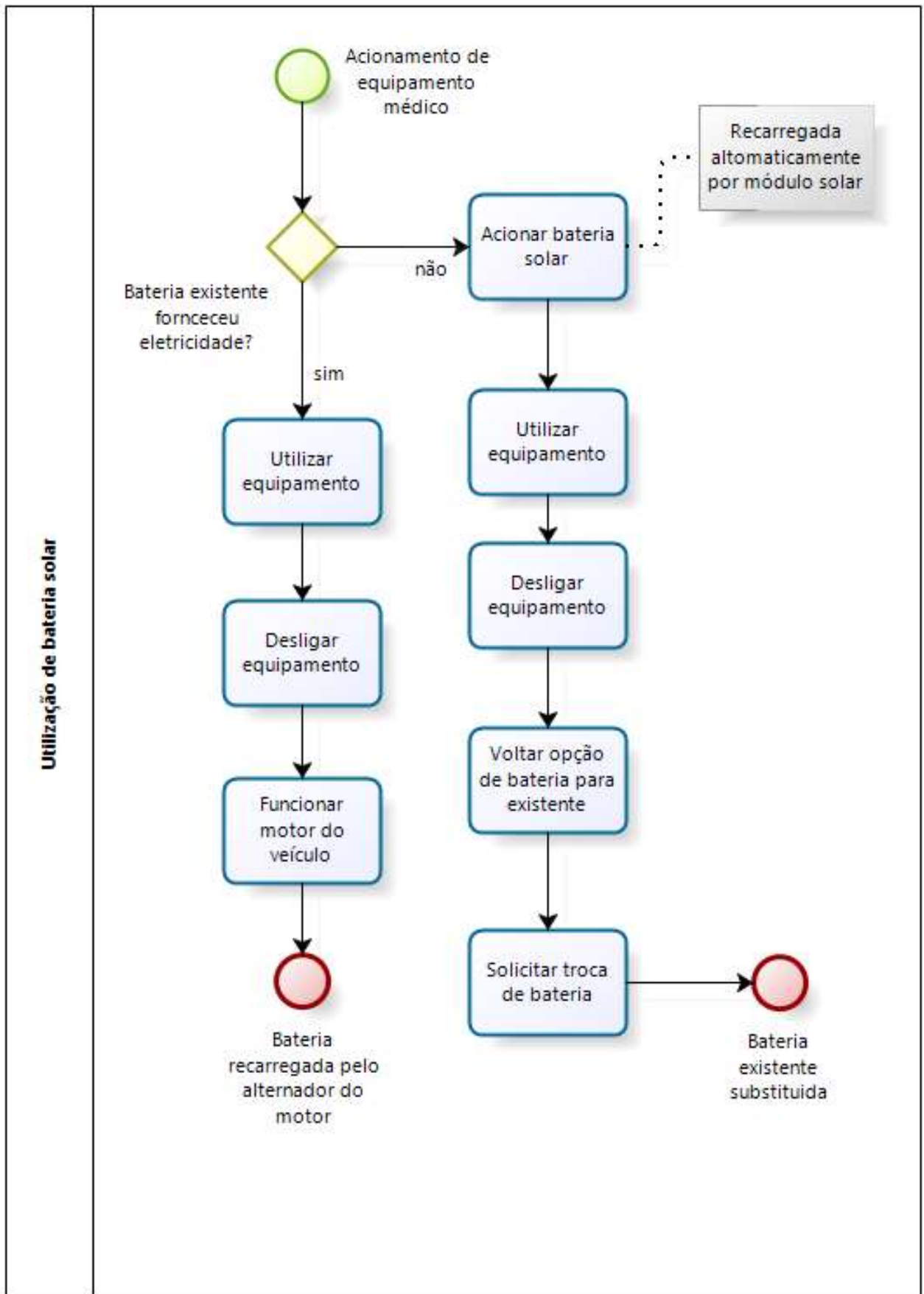


Figura 6 - Fluxograma de funcionamento da bateria solar
 Fonte: Autor, 2017.

Inicialmente, foi definido o tamanho das placas fotovoltaicas a serem empregadas na UTI móvel em função da área útil do teto do veículo e da potência dos equipamentos elétricos.

A corrente elétrica a ser entregue à bateria pelo controlador de carga [6], que é a corrente obtida quando as placas estão iluminadas pela luz solar, é calculado pela equação 1:

$$I_c = \frac{P_t}{V} \quad (1)$$

sendo:

I_c = corrente de saída do controlador de carga;

P_t = potência total do conjunto fotovoltaico;

V = tensão de saída do controlador de carga.

A quantidade de corrente entregue à bateria solar por dia de irradiação [6] é dada pela equação 2:

$$I_{dia} = t_{sp} \times I_c \quad (2)$$

sendo:

I_{dia} = corrente diária produzida;

t_{sp} = tempo de sol pico considerado (em horas);

I_c = corrente de saída do controlador de carga.

A corrente necessária para o funcionamento dos equipamentos elétricos da UTI móvel é dada por:

$$I_{total} = \frac{P_{inst}}{V} \quad (3)$$

sendo:

I_{total} = corrente total demandada pelos equipamentos médicos;

P_{inst} = potência instalada de equipamentos médicos.

V = tensão de saída do controlador de carga.

A autonomia¹ da bateria do sistema fotovoltaico *off-grid* em relação à carga total dos equipamentos [6] é mostrada na equação 4.

$$AS = \frac{I_b(1 - PD_{\%})}{I_{total}} \quad (4)$$

sendo:

AS = autonomia do sistema fotovoltaico *off-grid*;

I_b = corrente nominal da bateria *off-grid* (em A.h);

$PD_{\%}$ = profundidade de descarga máxima da bateria *off-grid* (em %);

I_{total} = corrente total demandada pelos equipamentos médicos;

Com 15% de profundidade de descarga da bateria² *off-grid*, calcula-se a autonomia desta no instante em que existir pane mecânica e somente ela estiver em operação.

Utilizando a metodologia descrita nos itens da seção 2 deste capítulo será possível inserir a instalação de um sistema fotovoltaico em uma Unidade de Tratamento Intensivo Móvel para atender o problema de interrupção do fornecimento de energia da UTI Móvel, causado por falhas mecânicas, elétricas e acidentes de trânsito durante o trajeto para o hospital, de modo que uma terceira bateria pelo sistema fotovoltaico será inserida na ambulância para a alimentação dos equipamentos da UTI garantindo o atendimento ao paciente até seu destino final.

¹ A quantidade de tempo que ela consegue se manter com os equipamentos em funcionamento.

² Uma bateria não deve ser descarregada para além de um certo limite, sob pena de a danificar.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando-se da metodologia descrita no capítulo 2 (Materiais e Métodos) obtive-se os resultados descritos a seguir. Neste mesmo capítulo far-se-á a discussão de cada resultado obtido.

6.1 Levantamento físico e estrutural do veículo da UTI móvel

Inicialmente, fez-se o levantamento físico e estrutural do veículo da UTI móvel, conforme figura abaixo.

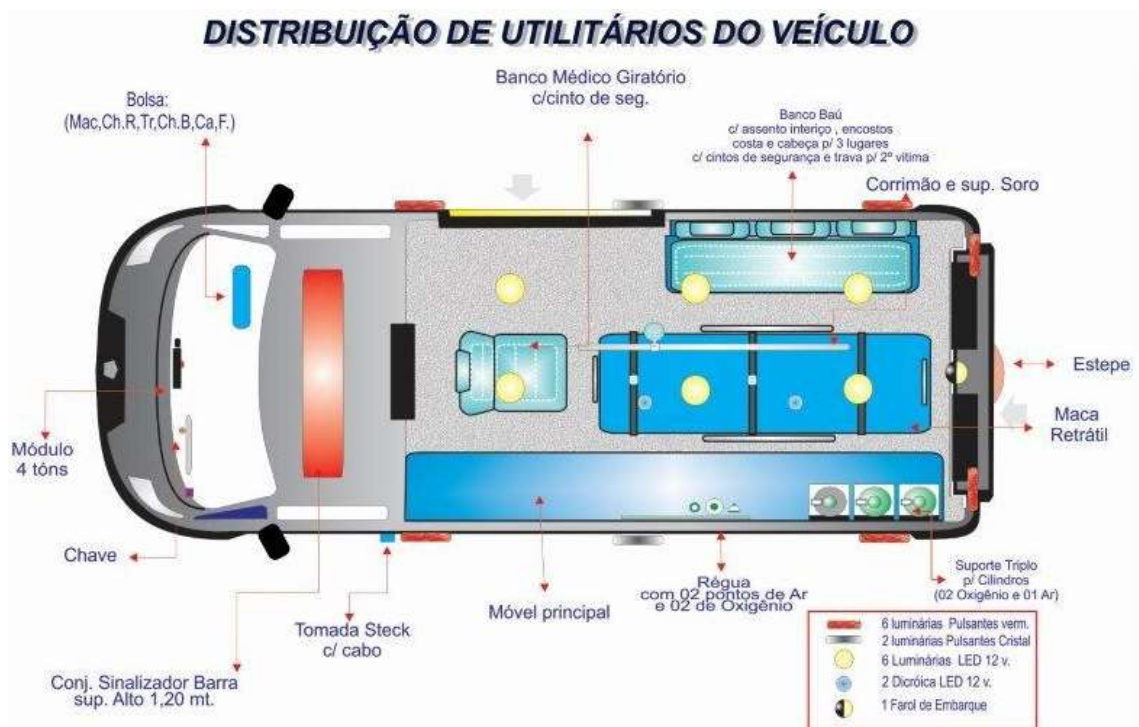


Figura 7 - Esquema físico e estrutural da UTI móvel [26]

Distribuição de utilitários do veículo

Trata-se de um veículo tipo caminhonete ambulância à diesel, com as seguintes adaptações para atender a UTI Móvel:

Revestimentos

- Portas em chapa, com revestimento interno em poliuretano, com fechos, tanto internos e externos, resistentes e de abertura de fácil acionamento.

- Revestimento interno das laterais e teto em material lavável
- Intercomunicação entre a cabine e o salão de atendimento para passagem de uma pessoa

- Revestimento de alumínio xadrez no para-choque traseiro

- Proteção contra riscos para os limitadores nas travas das portas

Sistema Elétrico

- Alimentação por 2 baterias independentes, sendo a original e uma auxiliar.

- Sistema que bloqueie automaticamente o uso da bateria do motor para alimentar o compartimento de atendimento e as luzes adicionais de emergência, quando o veículo estiver com o motor desligado - Marca Rontan Modelo RTW.

- Central elétrica composta de disjuntor térmico e automático, relês, base de fusíveis instalado na parte superior do armário e chave geral próximo do motorista.

- Inversor de corrente contínua de 12 V p/ alternada 110/220 V com potência mínima de 1000 Watts

- Painel elétrico interno composto de: uma régua integrada com no mínimo 6 tomadas, sendo que 4 tripolares (2P+T) de 110 V e 2 de 12V, além de interruptores com teclas do tipo iluminadas.

- Tomada externa tripolar para captação de energia instalada na parte superior do lado esquerdo do veículo próximo à porta do motorista com fio de extensão de 20 m de comprimento

- Transformador automático ligado à tomada de captação Iluminação

- Natural: janela com vidros translúcidos na lateral direita e vidros nas portas traseiras

- Artificial: 4 luminárias no teto, com diâmetro mínimo de 20 cm, em base estampada em aço inoxidável, lâmpadas alógenas de dupla intensidade com lente em policarbonato translúcido, com acabamento corrugado para difusão da luz e 2 luminárias com foco dirigido sobre a maca com lâmpadas dicróicas de 50Watts - Marca Rontan Modelo RT LUMINA.

- Externa: Traseira com holofote com foco direcional de 180° Sinalização

- Sinalização Acústica e Luminosa de Emergência - Marca Rontan Modelo RT Winglux 100 D 126dB LB.

- 03 lanternas pulsantes intercaladas, de cada lado da carroceria com frequência mínima de 90 flashes por minuto Marca Rontan Modelo RT FOCUS

- 02 lanternas traseiras - Marca Rontan Modelo RT DIGILIGHT
- Sinalizador acústico de ré Marca Rontan Modelo RT552
- 02 sinalizadores estroboscópicos intercalados nos faróis dianteiros do veículo -

Marca Rontan Modelo RTSFA

Sistema Fixo de Oxigênio

- 2 cilindros de oxigênio de 16 Litros; 1 cilindro de ar comprimido nas mesmas dimensões do de oxigênio.
- Fixação tipo catraca
- Saída de oxigênio ao lado do paciente com régua quádrupla com 2 saídas para oxigênio e 2 para o ar comprimido fixada em painel removível composta de fluxômetro, umidificador aspirador tipo venturi p/ O₂ e Ar Comprimido.

Sistema Portátil de Oxigênio

- Cilindro de oxigênio de 0,5 m³, válvula redutora com manômetro, fluxômetro, e circuito do paciente (umidificador, chicote, nebulizador e máscara), alojado em estojo com alça para transporte.

Ventilação

- 02 exaustores e 02 ventiladores

Bancos

- Paralelo a maca, um banco lateral escamoteável, tipo baú, revestido em curvim, para 3 pessoas assentadas, ou uma vítima imobilizada em prancha longa com 3 cintos de segurança.
- Entre a cabine e a maca, um banco para profissional com acesso a vias aéreas.
- Maca de alumínio escamoteável em duralumínio com cintos de segurança
- Cadeira de rodas, dobrável em alumínio.

Design Interno

- Balaústre no teto do salão.
- Suporte de soro móvel
- Piso resistente, em material tipo vinil, lavável, impermeável antiderrapante mesmo quando molhado.
- Rodapé de 10 cm para o piso
- Proteções em inox no piso e armários para a maca
- Lixeira: com capacidade de colocação de sacos de lixo de 5,0 lts, sobre a bancada, recipiente para produtos perfurocortante.

Design Externo

- Grafismo básico de ambulância UTI contendo Palavra “AMBULÂNCIA” nas laterais na parte traseira de forma convencional e de forma espelhada (invertida) no capô; cruces vermelhas nas portas dianteiras ou nas laterais;

Armários

- Armários: do lado esquerdo, em compensado naval, com prateleiras internas com batentes frontais, revestido em fórmica.

- Portas corrediças em acrílico, bipartidas.
- Todas as gavetas e portas dotadas de trinco com mecanismo de limitação de abertura.

- Instalação de suporte de 4 almotolias perto do paciente Equipamentos
- Suporte de mecânica: caixa de ferramenta
- Suporte de segurança contendo extintor de CO₂, extintor de pó químico seco de 12 Kg, cone de segurança, lanterna portátil.

- Ar condicionado com resfriamento e aquecimento nos dois compartimentos.

A alimentação é feita com bateria auxiliar de 100 Ah ligada em paralelo com a bateria do motor de 95 Ah, essas baterias são carregadas pelo alternador que tem função de gerar energia. Ele é a central elétrica do carro. Uma vez acionado pelo motor através de uma correia, transforma energia mecânica em elétrica, necessária para carregar as baterias e alimentar todos os componentes, como o sistema de ignição e os demais equipamentos elétricos. As autonomias das baterias dependem muito dos acessórios instalados nos veículos, por exemplo ar condicionado, som, e demais acessórios que usam energia, do tempo de uso das mesmas, a média de autonomia gira em torno de 40 minutos por baterias

A Central elétrica composta de:

- Disjuntores térmicos e automáticos;
- Fusíveis instalados na parte superior do armário;
- Inversor de 12 VDC para 127/220 VAC com potência mínima de 1000 W.

6.2 Identificação dos equipamentos instalados na UTI móvel

Nas UTI's móveis encontra-se diversos equipamentos elétricos dos quais foi realizado levantamentos das cargas para o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, bateria e controladores de carga. Estes equipamentos são descritos a seguir.

6.2.1 Bomba de Infusão

É um aparelho médico-hospitalar que visam obter precisão nas infusões contínuas intravenosas, diminuindo os problemas das infusões por gravidade, otimizando o tempo da equipe médica e de enfermagem, a resposta à droga e a eficácia das terapias. Tem como função controlar rigorosamente o gotejamento. Gotejamento é em vazão por ml/h, ou seja, microgotas [27].

Tensão: 110 - 230 V, frequência: 50/60 Hz, potência: 55 VA.



Figura 8 - Bomba de infusão
Fonte: Autor, 2017.

6.2.2 Ventilador Pulmonar portátil

O ventilador pulmonar de transporte e emergência é um aparelho que serve para suporte ventilatório de pacientes em operações de resgate, emergência e transporte. Fornece uma mistura de oxigênio (O_2) com ar ambiente (Ar) com concentrações de oxigênio ajustados de 40 a 100% de O_2 ; O aparelho realiza o controle de fluxos e pressões no circuito respiratório do paciente para prover as modalidades de ventilação adequadas para a condição do paciente [28].



Figura 9 - Ventilador pulmonar à pressão
 Fonte: Fonte: Autor, 2017.

6.2.3 Desfibrilador

Aparelho com que se provocam descargas elétricas, com corrente alterna ou contínua, sobre a região torácica anterior, incidindo, em especial, na área cardíaca, com a finalidade de fazer com que um ritmo cardíaco anormal volte à normalidade. É um equipamento leve e portátil com tecnologia de onda bifásica para monitorização cardíaca e os parâmetros de programação pré e pós choque, indicando energia real armazenada a ser entregue. Possui como características elétricas: tensão 00-265 V_{AC}, frequência de 50/60 Hz e potência aparente de 400 VA [29].



Figura 10 - Desfibrilador
 Fonte: Autor, 2017.

6.2.4 Aspirador elétrico

Aspira líquidos e secreções, é ideal para uso em clínicas médicas e odontológicas. O motor é equipado com protetor térmico que atua como dispositivo de segurança, garantindo maior vida útil ao aparelho. Funcional, compacto, não requer manutenção e lubrificantes [30].

- Aspiração regulável de 0 a 23'Hg, regulagem através de um botão de alta sensibilidade;
- Uso clínico, odontológico, veterinário e cirúrgico;
- Fácil limpeza e higienização;
- Portátil, silencioso, econômico e de fácil manuseio;
- Baixo consumo de energia;
- Sem necessidade de manutenção e lubrificantes [30].



Figura 11 - Aspirador elétrico [30]

6.2.5 Monitor multiparametro

Monitor contínuo em tempo real de parâmetros vital simultâneos: **ECG-SPO2** (Sistema de Saturação de Oxigênio com filtro especial p/ redução de interferências e ruídos gerados por artefatos eletromagnéticos e movimentos de pacientes); **PULSE** (Frequência Cardíaca); **NIBP** (pressões não invasivas, Sist., Diast. e media); Respiração; **TEMPERATURAS** (percutânea e -

retal esofágica); Cálculo de Dosificação de Drogas; Alarma de APNEA; OXYCR (3 curvas simultâneas em tempo real: **PULSE** - (Frequência Cardíaca), **SPO2**, **RESPIRAÇÃO**), uso GERAL (adulto, pediátrico, neonatológico) conveniente para Uso Clínico, Hospitalar e Ambulâncias (unidades móveis de traslado de média e alta complexidade), compacto, leve, baixo consumo e alta performance, Apresentação de valores alfanuméricos e curvas. Alarmes Programáveis (visuais e auditivos), alimentação com 110-220VCA 50/60 Hz, 12VCC y bateria Interna recarregável, Autonomia plena de 2 a 6 hs. dependendo dos parâmetros, conector para segunda bateria (adicional), DUPLICANDO Autonomia. Serviço contínuo, memorias e tendências. Dimensões: 318x264x152 [mm], Peso 4,5 [Kg] (com uma bateria incluída) [31].

6.3 Levantamento da área disponível para instalação dos módulos fotovoltaicos no teto da UTI móvel e dimensionamento da bateria de *backup*

Utilizando uma trena, foram determinadas as medidas da UTI móvel, sendo largura total de 2,00 metros, comprimento parcial de 3,50 metros (descontados 2,10 metros da cabine do motorista). Desta forma, tem-se uma área útil no teto da ambulância de 7 m² onde serão instaladas as placas fotovoltaicas.

Tratando-se de um veículo de longo período de uso e constante movimento, portanto há necessidade de uma avaliação da instalação. Esta avaliação refere-se à posição das placas fotovoltaicas na instalação no teto da UTI, que pode ser horizontal ou com alguma inclinação e angulação para otimizar a captação de energia solar.



Figura 12 - Comprimento
Fonte: Autor, 2017.



Figura 13 - Largura
Fonte: Autor, 2017.

Neste trabalho serão escolhidas placas de 270 Wp³, com dimensões de comprimento e largura de 1,00 m e 1,65 m, respectivamente. Desta forma, tem-se a possibilidade de instalação de três módulos na parte superior da UTI móvel.

Desta forma, considerando as características elétricas da bateria responsável pela alimentação dos equipamentos médicos, uma bateria de 12 V e 200 Ah será inserida, a qual será alimentada única e exclusivamente pelo sistema fotovoltaico *off-grid*. Para isso, tem-se a necessidade do design do sistema fotovoltaico *off-grid*.

A partir da potência do sistema fotovoltaico de 810 Wp, referente as três placas solares de 270 Wp, é calculado a corrente elétrica a ser entregue à bateria pelo controlador de carga, isto considerando 12 V a tensão de saída do controlador.

$$I_c = \frac{P_t}{V} = \frac{810}{12} = 67,5 \text{ A} \quad (5)$$

Com isso, tem-se a necessidade de um controlador de carga de 80 A, permitindo a expansão do sistema caso seja desejável.

³ O valor de Wp de um determinado sistema fotovoltaico que funcione em corrente contínua é a potência medida, quando este sistema é irradiado por uma luz que simula a luz solar com a potência por unidade de área de 1000 W/m², à temperatura de 25°C.

Considerando uma quantidade de 3 horas de sol pico por dia, é determinada a quantidade de corrente entregue à bateria e verificada se este conjunto consegue carregá-la ao longo do mesmo.

$$I_{dia} = t_{sp} I_c = 3.67,5 = 202,5 \text{ A/dia} \quad (6)$$

É possível observar que a quantidade de módulos é suficiente para realizar a recarga na bateria.

Corrente necessária para alimentação dos equipamentos:

$$I_{total} = \frac{P_{inst}}{V} = \frac{500}{12} = 41,67 \text{ A} \quad (7)$$

Sendo a potência instalada de 500 W uma estimativa dos equipamentos instalados na UTI Móvel em conformidade com a segunda bateria instalada no veículo de 100Ah.

$$AS = \frac{I_b (1 - PD\%)}{I_{total}} = \frac{200(1 - 0,15)}{41,67} = 4,08 \text{ horas} \quad (8)$$

Então, a autonomia do sistema fotovoltaico *off-grid* instalado foi de 4,08 horas, isto na pior das hipóteses, ou seja, pane no período noturno. Com pane no período diurno, mesmo ocorrendo uma ligeira descarga da bateria por uso dos equipamentos médicos, sua autonomia será superior às 4,08 horas por conseguir no mesmo instante de descarga fazer a recarga.

O sistema fotovoltaico *off-grid* a ser inserido na UTI Móvel representa apenas 2% do valor de um veículo ambulância UTI Móvel. Segundo levantamento realizado em janeiro de 2018 na empresa Mobile Car de Votuporanga uma UTI Móvel completa com todos os equipamentos elétricos para atendimento aos pacientes está no valor de R\$ 450.000,00.

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizado o estudo e viabilidade de um sistema fotovoltaico *off-grid* para atender uma UTI móvel.

Na análise da proposta, observou-se as seguintes conclusões:

- solucionar o problema de interrupção de energia elétrica dos equipamentos hospitalares da UTI em caso de pane eletromecânica ou acidente no veículo;
- a instalação da terceira bateria (solar) no veículo UTI foi inserida para garantir a segurança no atendimento do paciente na emergência, mantendo os equipamentos ligados e salvando vidas;
- o sistema fotovoltaico inserido na UTI contribuirá muito em áreas onde o veículo UTI tem que percorrer longas distâncias para atender pacientes e deslocar para o ambiente hospitalar mais próximo da ocorrência;
- Aplicação simples, baixo custo e benefícios que proporciona à sociedade, utilizando uma fonte de energia limpa e renovável e segurança no atendimento de pacientes;
- o sistema fotovoltaico *off-grid* que foi inserido representa apenas 2% do veículo UTI Móvel nova;
- a autonomia da bateria solar será de 4 horas a mais de tempo para atender os pacientes sem utilização dos raios solar pelo fato da UTI estar em movimento e captando raios solar e mantendo a bateria carregada.

8 TRABALHOS FUTUROS

Em virtude da proposta do Estudo da viabilidade de um Sistema Fotovoltaico *Off-Grid* em UTI's Móveis para Fornecimento de Energia Elétrica, tem como trabalhos futuros:

- implementação e análise (segurança, confiabilidade e eficiência) do sistema fotovoltaico *off-grid* na UTI móvel;
- implementação do sistema de chaveamento entre bateria existente e a solar;
- análise dos impactos causados pelo uso do sistema;
- diversificação da aplicação de sistemas fotovoltaicos na solução de outros eventos na área hospitalar.

REFERÊNCIAS

1. Pereira WAP, Lima MADS. O trabalho em equipe no atendimento pré-hospitalar à vítima de acidente de trânsito. *Rev. Esc. Enf. USP* 2009; 43(2): 320-7.
2. Santos JB, Jabbour CJC. Adoção da energia solar fotovoltaica em hospitais: revisando a literatura e algumas experiências internacionais. *Saúde e Sociedade* 2013; 22(3):972-77.
3. Ragadali Filho A, Leal I, Anjos QS, Custódio BR, Danelussi DP. A Necessidade da Implantação da Unidade de Terapia Intensiva Móvel de Emergência Nas Cidades Brasileiras. *Rev. Saberes, Rolim de Moura* 2015;3(2): 102-113.
4. Solar Energy International. *Solar electric handbook: photovoltaic fundamentals fundamentals and applications*. Nova Iorque: Pearson, 2012.
5. Pinho JT, Galdino MA. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. [Internet]. 2014. [Acesso em 2017 out 11]. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf.
6. Villalva MG, Gazoli JR. *Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações*. São Paulo: Érica; 2014.
7. Profelectro. *Energia Solar / Célula Fotovoltaica*. [Internet]. [Acesso em 2017 out 11]. Disponível em: <http://www.profelectro.info/energia-solar-celula-fotovoltaica/>.
8. Malvino AP, Bates DJ. *Electronics principles*. Nova Iorque: McGraw-Hill Education; 2015.
9. Sedra AS, Smith K. *Microelectronic circuits*. Oxford: University Press; 2014.
10. Fadigas EAFA. *Energia solar fotovoltaica: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica*. [Internet]. 2015. [Acesso em 2017 out 11]. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf.
11. Mppsolar. *Ligação em série de mais painéis solares*. [Internet]. [Acesso em 2017 out 12]. Disponível em: <http://www.mpptsolar.com/pt/paineis-solares-em-serie.html>.

12. Mppsolar. Painéis solares: Ligação em paralelo. [Internet]. [Acesso em 2017 out 12]. Disponível em: <http://www.mpptsolar.com/pt/paineis-solares-em-paralelo.html>.
13. Almeida E, Rosa AC, Dias FCLS, Braz KTM, Lana LTC, Santo OCE. et al. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. [Internet]. [Acesso em 2017 out 2]. Disponível em: <http://www.fumec.br/revistas/eol/article/download/3574/1911>.
14. Matheus F. Sistemas fotovoltaicos autônomos. [2015]. [Internet]. [Acesso em 2017 out 25]. Disponível em: <https://fomatheus.wordpress.com/2015/06/04/sistemas-fotovoltaicos-autonomos/>.
15. Saad MC. Controlador de carga e descarga de baterias, microcontrolado com pic, com aplicação em sistemas de fornecimento de energia em geral, incluindo sistemas fotovoltaicos. [Graduação]. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica, 2012.
16. Cresesb - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito. [Internet]. [Acesso em 2017 out 2]. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=4.
17. Yilmaz S, Özçalik HR. Performance analysis of a 500-kWp grid-connected solar photovoltaic power plant in Kahramanmaraş. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences 2015; (23): 1946-1957.
18. Al-Karaghoul A, Kazmerski LL. Optimization and life-cycle cost of health clinic PV system for a rural area in southern Iraq using HOMER software. Solar Energy 2010; 84(4): 710-14.
19. Disson S. World's largest solar powered hospital opens in Haiti courtesy of Partners In Health. WorldCitiesNetwork.org. [Internet]. [Acesso em 2017 out 11]. Disponível em: <https://www.worldcitiesnetwork.org/>.
20. Moya CH. Análise da Adoção de Sistemas Fotovoltaicos na Universalização da Energia Elétrica do Estado do Amazonas. [Dissertação]. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá; 2014.
21. Ahmed AS. Solar panels could save patients in Gaza's hospitals: thanks to a new fundraising campaign. The World Post. [Internet]. [Acesso em 2017 out 11]. Disponível em: https://www.huffingtonpost.com/2015/05/21/gaza-hospitals-solar-power_n_7338188.html.
22. Anand S, Rao, A. Models for deployment of solar PV lighting applications in rural India. Energy Procedia 2016; (90): 455-462.

23. Maammeur H, Hamidat A, Loukarfi L, Missoum M., Abdeladim, K.; NACER, T. Performance investigation of grid-connected PV systems for family farms: case study of north-west of Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017; (78):1208-1220.
24. Neves GS. Análise de sistemas fotovoltaicos para veículos elétricos experimentais de baixo custo. [Dissertação]. Catalão: Universidade Federal de Goiás; 2016.
25. Valera LR, Manito ARA, Ribeiro TBS, Zilles R, Pinho JT. Problemas em sistemas fotovoltaicos aplicados à eletrificação rural no Brasil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017; 78(C): 1033-43.
26. Marimar Veículos. Hospitalar. [Internet]. [Acesso em 2017 dez. 11]. Disponível em: <http://www.marimarveiculos.com.br/veiculos/>.
27. Silva Júnior ÀM. Sistema para avaliação da funcionalidade de bombas de infusão. [Dissertação]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
28. Ueda W. Ventilador pulmonar eletrônico para transporte e emergência. [Internet]. [Acesso em 2017 dez. 15]. Disponível em: <http://bv.fapesp.br/pt/auxilios/2093/ventilador-pulmonar-eletronico-para-transporte-e-emergencia/>
29. ABCMED, 2014.Desfibrilador: o que é? Como usar? Por que usar? [Acesso em 2017 dez 15]. Disponível em: <<http://www.abc.med.br/p/exames-e-procedimentos/570517/desfibrilador-o-que-e-como-usar-por-que-usar.htm>>.
30. Hospitalar Distribuidora. Aspirador Cirúrgico de sangue e Saliva Bomba Vácuo Aspiradora 1,3 Litros - Aspirámax- NS. [Acesso em 2017 dez 15]. Disponível em: <http://www.hospitalardistribuidora.com.br/produto/aspirador-cirurgico-de-sangue-e-saliva-bomba-a-vacuio-aspiradora-13-litros-aspiramax-ns/26845>.
31. Instramed. Manual do usuário. [Acesso em 2017 dez. 15]. Disponível em: <http://www.instramed.com.br/assets/inmax-manual-do-usuario-port.pdf>.