UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DINÂMICA DE SISTEMAS NA MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM CONVERSOR CC-CC BUCK APLICADO EM SISTEMAS ISOLADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Rhasla Ramos Abrão – rhasla182@gmail.com
Paulo Irineu Koltermann – koltermann@del.ufms.br
Jéferson Meneguin Ortega – jmortega@del.ufms.br
Valmir Machado Pereira – valmir@del.ufms.br
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica

3.4 Sistemas Fotovoltaicos Autônomos e Híbridos

Resumo. *A utilização da energia fotovoltaica diretamente na carga, sem o uso de baterias está se tornando uma tendência, considerando a possibilidade de alimentação de motobombas para irrigação e principalmente com o advento dos inversores, na utilização direta na rede, interligada no sistema elétrico. Este trabalho apresenta a modelagem matemática e implementação computacional de um conversor CC-CC Buck utilizando o software Powersim®. Foram formuladas as equações de estado em função das características de operação do conversor Buck e obtidas sua solução utilizando a técnica de dinâmica de sistemas. Apresenta-se o diagrama de laço causal de um sistema de geração de energia fotovoltaica e diagrama de estoque e fluxo do conversor abaixador de tensão, denotando a importância deste conversor no processo de conexão do painel fotovoltaico à carga. Os resultados obtidos demonstraram bom desempenho da modelagem do sistema de conversão, que se constituem em uma etapa parcial de projeto de dissertação, que envolve a modelagem de um sistema de geração de energia fotovoltaica completo. Uma vantagem apresentada na metodologia de dinâmica de sistemas é a possibilidade de melhor abordagem das questões ligadas à sustentabilidade ambiental, enfocando as variáveis de condições climáticas e de impactos ambientais.*

Palavras-chave: *Sistema fotovoltaico, Fonte renovável, Conversor abaixador de tensão, Dinâmica de sistemas.*

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica através da energia solar é feita através do fenômeno chamado efeito fotovoltaico que acontece nas fotocélulas de Silício. Esta forma de energia é considerada "limpa", pois possui fonte renovável e não polui o meio ambiente. Esta forma de geração de energia elétrica é uma das soluções que se conhecem para atender pontos isolados ou móveis e mitigar os impactos negativos ao meio ambiente que decorrem, por exemplo, de outras formas de geração de energia que utilizam fontes não-renováveis. Um sistema fotovoltaico autônomo, ou seja, isolado da rede elétrica convencional, é composto basicamente por três partes: arranjo dos módulos, o subsistema de condicionamento de potência e as baterias. O objetivo deste trabalho é mostrar a aplicação da Dinâmica de Sistemas na simulação do conversor CC-CC buck, que é um dos principais componentes de todo o sistema, pois é responsável pelo controle de carga e descarga da bateria, a fim de aumentar sua vida útil e responsável por adequar o nível de tensão gerado nos terminais do painel no nível de tensão desejado pela carga.

A Dinâmica de Sistemas é uma metodologia que permite analisar e compreender como o sistema em foco evolui no tempo e como mudanças em suas partes afetam todo o seu comportamento. Esta metodologia facilita a visualização de todo o sistema e permite a simplificação de sistemas complexos e não lineares através de duas abordagens: modelagem soft e modelagem hard, as quais avaliam o sistema de forma qualitativa e quantitativa, respectivamente, além de poder ser utilizada em diversas aplicações.

O sistema completo é apresentado em forma de diagrama de laço causal, onde é possível visualizar as variáveis que interferem na eficiência do sistema e suas influências (positivas ou negativas). São inter-relacionadas variáveis que representam condições ambientais, sustentabilidade ambiental e outros fatores.

Hecktheuer (2001) implementou um programa de simulação para analisar o desempenho de sistemas fotovoltaicos, o qual considera um grande número de fatores que influenciam a eficiência do mesmo, entre eles estão: a temperatura dos módulos, a reflexão da radiação solar, a variação do espectro solar em função da massa de ar e a queda de tensão nos condutores do sistema.

Pacheco e Gules (2009) desenvolveram e implementaram uma estrutura a fim de otimizar a energia gerada por painéis fotovoltaicos em sistemas isolados da rede elétrica. Esta estrutura é composta por um conversor CC-CC bidirecional, conectado em paralelo com o sistema, para buscar o ponto de máxima potência. Utilizou a conexão em paralelo por esta ser mais eficiente que a conexão em série. Apresentou as curvas da eficiência nos testes de rendimento dos sistemas em série e em paralelo a fim de compará-los. E para a busca do ponto de máxima potência utilizou o método chamado de Perturbação e Observação (P&O).

Rosemback (2004) apresenta o projeto de um controlador de carga de baterias para ser usado em sistema de energia fotovoltaica. O controlador desenvolvido é um Conversor CC-CC Bidirecional com duas etapas de funcionamento distintas: uma Buck e outra Boost. Realizou simulações do projeto no PSpice, a fim de obter as formas de onda da tensão e corrente durante o modo corrente e modo tensão da etapa Buck; formas de onda da tensão, corrente no indutor do conversor Boost de entrada e corrente no indutor do Conversor CC-CC Bidirecional.

Vera (2004) desenvolveu um programa computacional de dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos autônomos na linguagem de programação Visual Basic 5.0, chamado PVSize, capaz de propor, para uma certa configuração de sistema, o número de baterias e módulos com seu risco de déficit de energia.

Almeida et.al. (2008) desenvolveram um controlador de baixo custo e auto-consumo reduzido para o gerenciamento de carga e descarga das baterias de sistemas fotovoltaicos autônomos. Apresentaram o projeto do controlador de carga do tipo ON/OFF e montaram uma bancada com elementos necessários para que pudessem ser feitos alguns testes do controle de uma bateria com este controlador projetado pelos autores.

Ferreira (2008) utilizou um conversor abaixador de tensão para desenvolver um controlador adequado a um motor *Brushless DC* de um carro movido a energia fotovoltaica. Na primeira etapa de seu trabalho, validou as equações matemáticas desenvolvidas no software Matlab™. Na segunda fase utilizou as relações matemáticas para controle de fontes de corrente dependentes permitindo a obtenção de sinais elétricos relacionados ao funcionamento das células fotovoltaicas. Esta implementação foi realizada no software Psim®.

Seguel (2009) realizou simulações no Matlab de um arranjo fotovoltaico ajustando seus parâmetros ao de um módulo comercial, para auxiliar o dimensionamento dos componentes de um conversor de potência tipo Buck com controle digital para controlar a carga do projeto de um carregador de baterias para aplicação em sistemas fotovoltaicos autônomos de baixa potência. E, para comprovar experimentalmente o funcionamento do carregador de baterias proposto no trabalho, foi implementado um protótipo no laboratório de eletrônica de potência da Universidade Federal de Minas Gerais.

A proposta deste trabalho é apresentar a modelagem matemática do conversor CC-CC Buck e mostrar a simulação do mesmo, a qual foi desenvolvida no software Powersim utilizando a técnica de Dinâmica de Sistemas. Serão abordados os Diagramas de Laço Causal de um sistema fotovoltaico completo e de Estoque e Fluxo do conversor Buck. Estes diagramas representam as interações entre os componentes do sistema ou dispositivo em questão e visualização qualitativa e quantitativa.

2. CONVERSOR CC-CC BUCK

O conversor CC-CC é um dos elementos de maior importância num sistema fotovoltaico, pois é o responsável pela transferência de energia entre o painel solar e a carga. O conversor recebe um nível de tensão ou de corrente contínua em seus terminais de entrada e ajusta para outros valores nos terminais de saída de acordo com as características da carga. Possui basicamente duas topologias: conversor abaixador de tensão, também conhecido como step-down ou Buck e conversor elevador de tensão, também conhecido como step-up ou bosst. Além de ajustar o nível de tensão gerado, tem a função também de seguidor do ponto de máxima potência, denominado MPPT (Maximum Power Point Tracker). Este ponto de máxima potência corresponde a máxima potência gerada pelos painéis fotovoltaicos e varia com o nível de insolação e com a temperatura.

Estes dispositivos podem ter dois tipos de configuração construtiva: série e paralela (shunt). E possui diversas estratégias de controle: *On*/*Off*, Tensão Constante, Corrente Constante, dentre outras. Normalmente, as estratégias que se utilizam de tensão ou corrente constante fazem uso de PWM (*Pulse Width Modulation*) para obterem um valor de tensão ou corrente médio fixo (Almeida et.al., 2008).

O tipo de controle do conversor neste trabalho é PWM. Esta modulação é definida como sendo uma técnica de comutação dos interruptores a freqüência de operação constante, sendo que apenas a largura do pulso, ou tempo de condução, varia dentro deste período. Esta comutação é resultado da comparação de um sinal triangular com um sinal de controle (Rashid, 1993).

As configurações série e paralela diferenciam-se, basicamente, pela posição da chave que conecta os módulos às baterias. Na configuração série, a chave é colocada entre os dois subsistemas. Quando fechada, permite que os módulos entreguem corrente aos acumuladores, enquanto que aberta, ela impede esse fluxo de corrente. Já na configuração paralela, a chave é posicionada em paralelo, quando as baterias estão próximas de sua carga total, o arranjo fotovoltaico é curto-circuitado, e, conseqüentemente, isolado do restante do circuito. O curto-circuito pode afetar o sistema de acumulação, caso não haja um diodo de bloqueio para evitar que ele se descarregue. A grande vantagem da configuração série é que não existe a necessidade desse diodo, o que elimina a corrente de fuga reversa e diminui a queda de tensão e o aquecimento do circuito (Almeida et.al., 2008). Em compensação, segundo Pacheco e Gules (2009), a conexão em paralelo é mais eficiente que a conexão em série, pois nesta última toda a energia fornecida pelo módulo é processada pelo conversor CC-CC, o que diminui a eficiência do sistema, e em paralelo, somente parte da energia é processada pelo conversor, fazendo com que ocorra maior aproveitamento da energia fornecida pelo módulo fotovoltaico.

2.1 Esquema elétrico e modelagem matemática

O esquema elétrico do conversor Buck pode ser visualizado na Figura 1 e seu funcionamento é descrito da seguinte forma: a tensão de entrada (*Vin*) é cortada pela chave *T*. Considera-se V_O constante. Assim, a corrente pela carga (*R*) tem ondulação desprezível, possuindo apenas um nível contínuo. Com o transistor conduzindo (diodo cortado), transfere-se energia da fonte para o indutor (cresce I_L) e para o capacitor (quando $I_L > V_O/R$). Quando *T* desliga, o diodo conduz, dando continuidade à corrente do indutor. A energia armazenada em *L* é entregue ao capacitor e à carga. Enquanto o valor instantâneo da corrente pelo indutor for maior do que a corrente da carga, a diferença carrega o capacitor. Quando a corrente for menor, o capacitor se descarrega, suprindo a diferença a fim de manter constante a corrente da carga (já que estamos supondo constante a tensão V_O) (Pomilio, 2009).

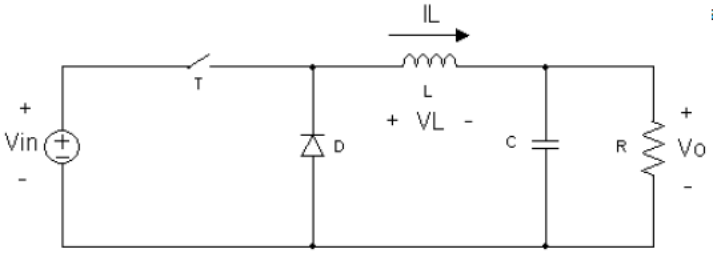

Figura 1 – Circuito elétrico equivalente de um conversor step-down (buck).

De acordo com o esquema elétrico da Fig. 1, tem-se:

Corrente na bobina: $\frac{di_L}{dt}$ Tensão no capacitor: $\frac{dv_C}{dt}$

Tensão de saída: $v_O(t)$ Tensão de entrada: $v_{in}(t)$

Se a corrente pelo indutor não vai a zero durante a condução do diodo, diz-se que o circuito opera no modo de condução contínua. Caso contrário tem-se o modo descontínuo. Em regra, prefere-se operar no modo de condução contínua devido a haver neste caso uma relação bem determinada entre a largura de pulso e a tensão média de saída. A Fig. 2 mostra a forma de onda típica do modo de condução contínua (Pomilio, 2009).

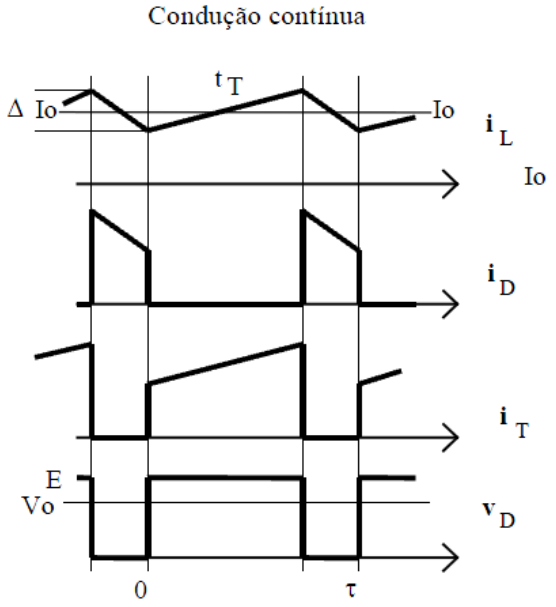

Figura 2 – Formas de onda típicas nos modos de condução contínua e descontínua.
Fonte: Pomilio (2009).

Sabendo que *q(t)* se refere à onda PWM que atua na base do transístor, logo toma os valores "0" ou "1", e iniciando a análise para a situação em que *q(t)=1* obtém-se o esquema elétrico da Fig. 3, conforme Ferreira (2008).

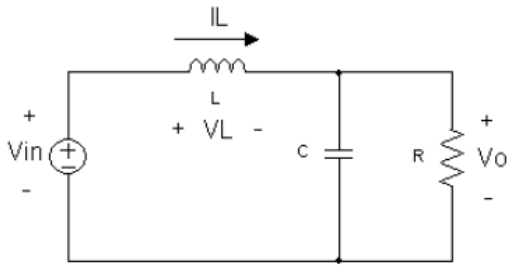

Figura 3 – Circuito elétrico equivalente do conversor step-down para *q(t)*=1

Analisando o esquema da Fig. 3 chega-se às seguintes relações:

$$v_L(t) = V_{in} - v_c(t) \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L} \cdot \left(V_{in} - v_c(t)\right) \tag{1}$$

$$i_c(t) = i_L(t) - \frac{v_c(t)}{R} \Rightarrow \frac{dv_c}{dt} = \frac{1}{C}\left(i_L(t)\right) - \frac{v_c(t)}{R} \tag{2}$$

$$v_0(t) = v_c(t) \tag{3}$$

Realizando a mesma análise para o segundo estado de funcionamento, *q(t)*=0, obtém-se o esquema elétrico da Fig. 4.

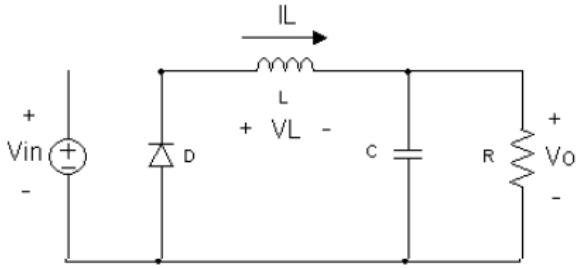

Figura 4 – Circuito elétrico equivalente do conversor step-down para *q(t)*=0.

Este é descrito pelas equações que se seguem:

$$v_L = -v_c \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{L} \cdot v_c(t) \tag{4}$$

$$i_c(t) = i_L(t) - \frac{v_c(t)}{R} \Rightarrow \frac{dv_c}{dt} = \frac{1}{C}\left(i_L(t) - \frac{v_c(t)}{R}\right) \tag{5}$$

$$v_0(t) = v_c(t) \tag{6}$$

3. DINÂMICA DE SISTEMAS

A Dinâmica de Sistemas é uma importante ferramenta que serve para analisar a interdependência das variáveis de um sistema, baseada em uma estrutura direta de estoques e fluxos. Como principais vantagens possui a possibilidade de se obter uma visão holística de um sistema e o tempo de atraso que algumas variáveis geram na saída do sistema.

A Dinâmica de Sistemas foi criada por Jay W. Forrester, que primeiro estudou os sistemas industriais e depois aplicou os mesmos conceitos a sistemas sociais e econômicos.

Já foi aplicada para simplificar e facilitar a compreensão dos mais diversos casos, principalmente casos complexos e que possuem variáveis difíceis de serem quantificadas.

Roman Filho & Yoshisaki (2006). Construíram um modelo baseado no conceito de Dinâmica de Sistemas para analisar estoques em uma cadeia logística de suprimentos na indústria aeronáutica. A Indústria Aeronáutica Brasileira

possui uma desvantagem competitiva que é sua localização. Ela possui uma grande distância de seus fornecedores e clientes, o que se faz necessário manter um elevado nível de estoque para garantir suas operações de manufatura e os compormissos de entregas com os clientes. Com a ajuda da Dinâmica de Sistemas foi possível obter resultados qualitativos relativo aos custos logísticos e propor uma solução para a logística da Embraer (maior fabricante de jatos regionais do mundo).

Blois & Souza (2008). A pesquisa desses autores visa propor uma forma de análise sistêmica do setor calçadista que integre a abordagem de Cenário Prospectivos à Dinâmica de Sistemas. Objetiva-se com isso disponibilizar alternativas que possibilitem análise, descrição e simulação de tendências de mercado para um período de cinco anos. Para a construção dos cenários, adotou-se o método descrito por Grumbach. Após a geração dos cenários, realizou-se a integração com a modelagem hard da Dinâmica de Sistemas. Os resultados indicam que a abordagem proposta pode contribuir para apontar oportunidades e ameaças do ambiente externo, bem como pontos fortes e fracos do ambiente interno, a fim de auxiliar nas decisões estratégicas e na adoção de procedimentos adequados para proteger o mercado calçadista pesquisado.

Canteiro (2008). Utilizou a técnica Dinâmica de Sistemas para realizar uma análise econômica da utilização do gás natural em sistemas de co-geração aplicados a instalações prediais comerciais e residenciais. Desenvolveu uma ferramenta de apoio a tomada de decisão que auxilia novos consumidores na utilização da co-geração a gás natural em alternativa à energia elétrica. Com a DS foi possível obter a representação do comportamento dinâmico das variáveis envolvidas no sistema de análise de viabilidade econômico-financeira da utilização da co-geração utilizando como combustível o gás natural.

Maldonado (2008). Em sua dissertação estuda os efeitos das políticas destinadas a favorecer a criação e transferência de conhecimento, especificamente das Políticas de Processamento de Informação (PPI), Políticas de Documentação e Registro das Atividades (PDR) e Políticas de Capacitação (PC), em um tipo particular de processo: os processos intensivos em conhecimento. Estes processos são essenciais para a Gestão do Conhecimento pois eles dependem fortemente do conhecimento embutido em atores, tarefas e atividades. Desenvolveu dois diagramas baseados na Dinâmica de Sistemas: Diagramas de Influência e Diagramas de Fluxos e Estoques e esta pesquisa demonstra que a Dinâmica de Sistemas modela adequadamente processos intensivos em conhecimento ao salientar suas características de complexidade dinâmica e ao apresentar comportamentos contra-intuitivos.

Bueno (2009). Afirma que a Dinâmica de Sistemas é uma metodologia muito útil, talvez até indispensável, para estudar mudanças de regime sistêmico como as que ocorrem quando uma economia passa de uma recessão para uma depressão, ou de uma situação de alta inflação para uma de hiper-inflação.

Figueiredo (2009). Em seu trabalho apresenta um modelo para estudo da difusão da tecnologia móvel celular baseado na teoria de difusão de produtos de Frank Bass (1969), e na metodologia de Dinâmica de Sistemas, o modelo foi aplicado ao caso brasileiro. Como resultado, foi possível reproduzir, com bom grau de aderência, as curvas acumuladas de celulares adotados no Brasil (pós-pagos, pré-pagos e total), bem como a curva de vendas anuais. Os resultados das projeções apontam para uma saturação da penetração de telefones celulares no Brasil por volta do ano de 2013, quando então o mercado deverá atingir um total aproximado de 150 milhões de aparelhos.

Souza (2010). Utilizou a técnica Dinâmica de Sistemas para fazer uma avaliação dos impactos da geração de energia elétrica através da utilização de biodigestores. Fez um planejamento e análise do processo de produção de suínos, pois a suinocultura é uma atividade caracterizada pelo alto consumo de energia, portanto, o aproveitamento da energia contida no biogás gerado a partir dos dejetos suínos colocados em um biodigestor pode diminuir o custo de produção de suínos e melhorar sua eficiência energética.

Um exemplo prático da aplicação da DS, é a implementação de um modelo para análise econômico-financeira da utilização da co-geração em alternativa à energia elétrica convencional. Na Fig. 5 tem-se um diagrama de laço causal referente a utilização de gás natural em prédios residenciais e comerciais.

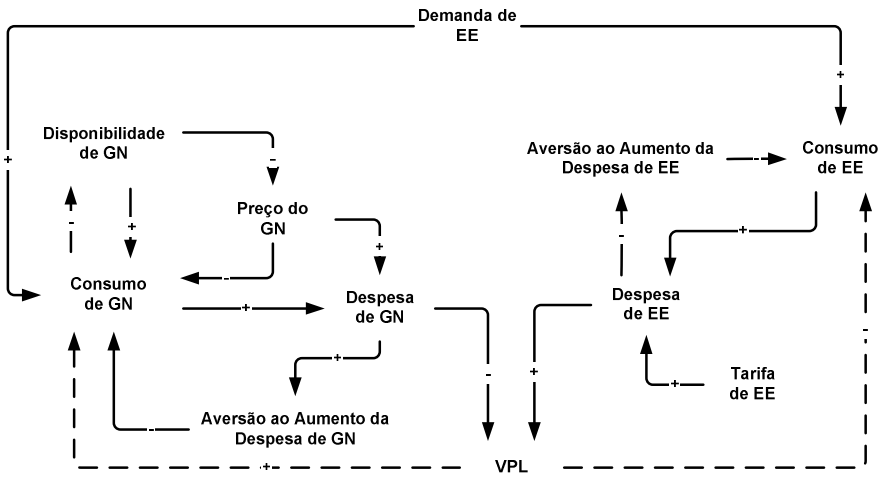

Figura 5 - Laço Causal do uso do gás natural em prédios residenciais e comerciais

Na Fig.6 pode ser visualizado o diagrama de estoque e fluxo referente a análise econômico-financeira da utilização de gás natural como fonte de energia.

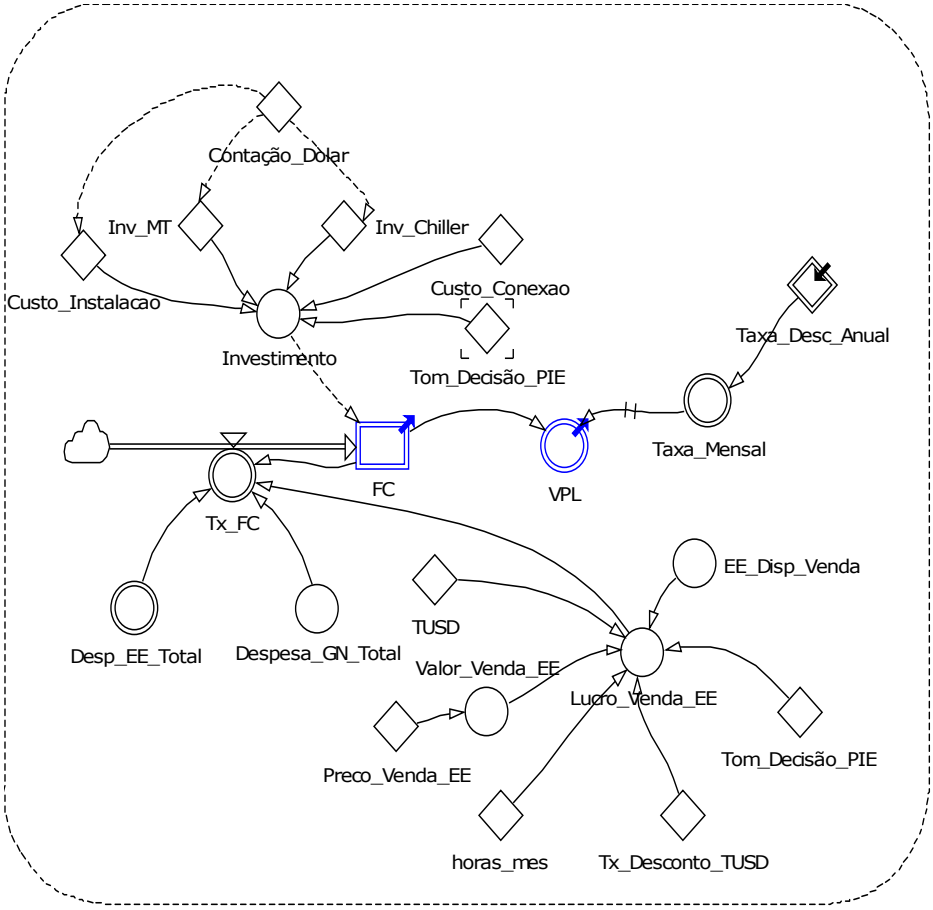

Figura 6 – DEF da análise econômico-financeira

Em seguida serão apresentados os diagramas de laço causal de um sistema isolado de energia fotovoltaica e o diagrama de estoque e fluxo do conversor CC-CC Buck, os quais fazem análise qualitativa e quantitativa, respectivamente.

O diagrama de estoque e fluxo do sistema isolado de energia fotovoltaica será feito nas próximas etapas do projeto de dissertação do autor. Este diagrama é o principal objetivo do projeto de pesquisa por permitir analisar e interpretar os resultados de forma sistêmica e por poder verificar a influência de variáveis complexas e que não admitem serem expressas em formas de equações matemáticas.

3.1 Diagrama de Laço Causal

Este diagrama, de natureza qualitativa, permite visualizar as relações de causa e efeito e dos tempos de espera (*delays* ou atrasos) que existem em todo o sistema. Foram identificadas as variáveis de interesse e elaborado um diagrama de laço causal do sistema fotovoltaico isolado, representado na Fig. 7, com influências das condições ambientais e fatores de sustentabilidade ambiental.

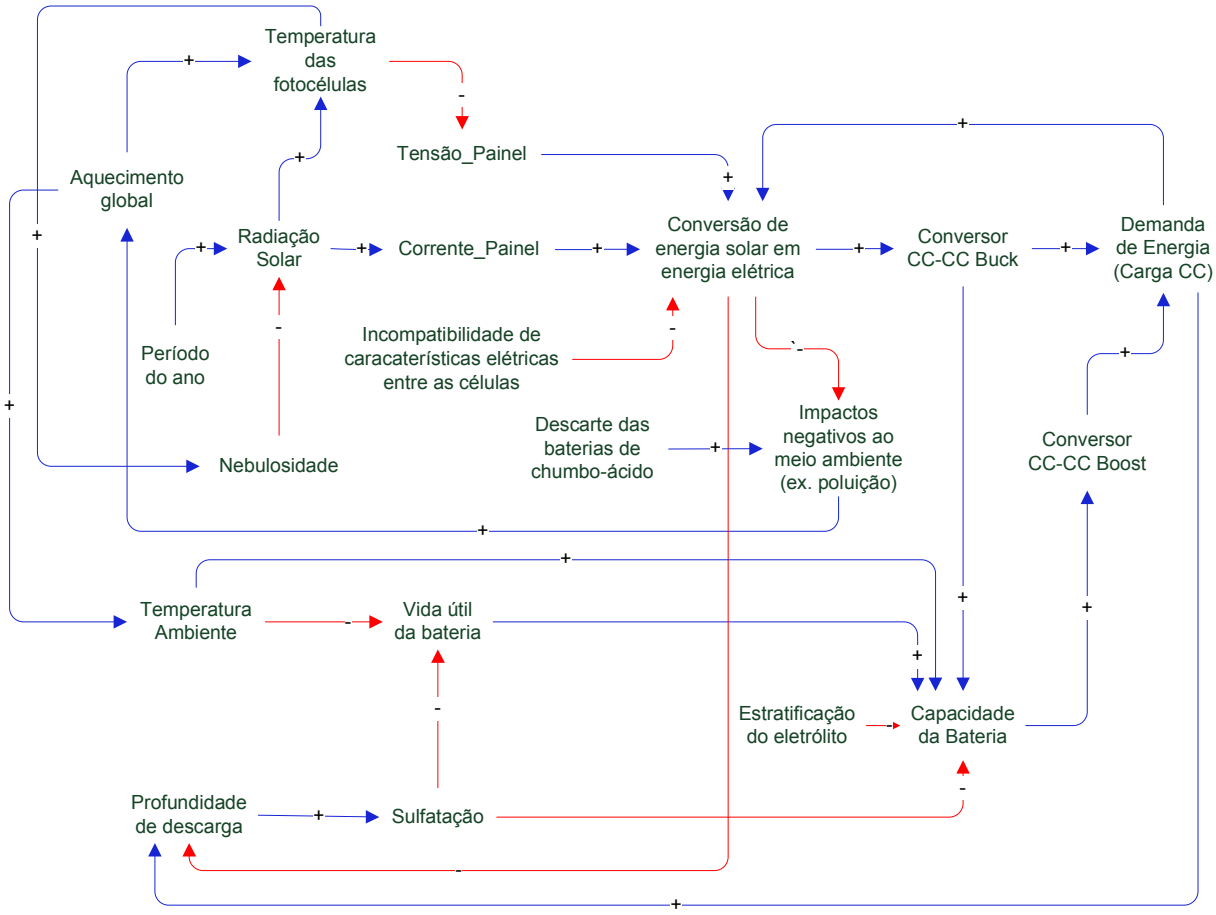

Figura 7 – Diagrama de Laço Causal do sistema fotovoltaico.

3.2 Diagrama de Estoque e Fluxo (DEF)

Na modelagem em DS, a construção dos DEF envolve variáveis de Estoque (Stocks) ou Nível, Fluxos e Taxas conforme descrito a seguir:

Estoque (*Stocks*) ou Nível - é uma simbologia genérica para tudo o que acumula ou se esgota. Mesmo se o tempo for interrompido, os Estoques permanecem estáticos e podem então ser observados e medidos. Podem ser entendidos como os "substantivos" do sistema (Powersim, 2003). São representados por um retângulo.

Fluxos (*Flows*) e Taxas - São as mudanças que ocorrem nos Estoques durante um período de tempo. Os fluxos em um sistema são normalmente, os resultados das decisões por parte da gestão ou de forças externas fora do controle dos gestores. Não podem ser observados num único instante de tempo, exceto acumuladamente ou na média (Maani; Cavana, 2000).

Sem Fluxos, os Estoques nunca mudariam e não existiria qualquer dinâmica em todo o sistema. Sendo assim, os Fluxos representam a atividade do sistema e para isto dependem das quantidades e valores presentes nos Estoques. Em razão de os Estoques crescerem ou reduzirem somente por meio da atividade dos Fluxos, e de os Fluxos dependerem das quantidades existentes nos Estoques, uma alternância entre Estoques e Fluxos deve estar presente em qualquer estrutura sistêmica (Powersim, 2003).

A flecha na extremidade do Fluxo indica seu sentido e o círculo com a válvula, no centro, é o regulador do Fluxo, chamado de Taxa. Este regulador conterá a "lógica", ou a "regra de decisão", que ajusta o volume do Fluxo. Algumas vezes, o Fluxo se inicia ou se encerra em uma nuvem, que representa um ponto limite do modelo. Estas nuvens nas extremidades de alguns Fluxos são fonte ou escape da estrutura, significam o infinito e definem as fronteiras, os limites do modelo (Powersim, 2003).

4. SIMULAÇÃO NO POWERSIM

O software Powersim® utiliza a técnica de Dinâmica de Sistemas e permite que sejam construídos modelos que representam qualquer tipo de sistema, e que seja possível variar os valores das variáveis que constituem o sistema em

questão, para que assim, seja possível analisar graficamente a influência quantitativa dessas variáveis no funcionamento de todo o sistema.

O circuito do conversor abaixador de tensão foi simulado neste programa e seu modelo em diagrama de estoque e fluxo pode ser visualizado na Fig. 8.

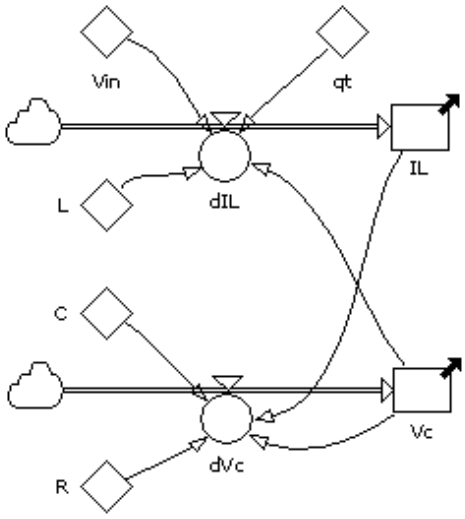

Figura 8 – Diagrama de Estoque e Fluxo do Controlador CC-CC Buck.

Foi simulado o circuito elétrico esquematizado na Fig. 1, sendo a base do transístor controlada em malha aberta, ou seja, $q(t) = 0$, com uma onda PWM. Para a simulação foram utilizados os seguintes valores aleatórios: Vin=36V; L=2,2mH; C=2200μF; R=2. Estes valores são constantes e são representados por losangos no diagrama de estoque e fluxo.

As curvas de tensão no capacitor e corrente no indutor do circuito conversor abaixador de tensão são mostradas na Fig. 9. O tempo de simulação foi de 1 segundo.

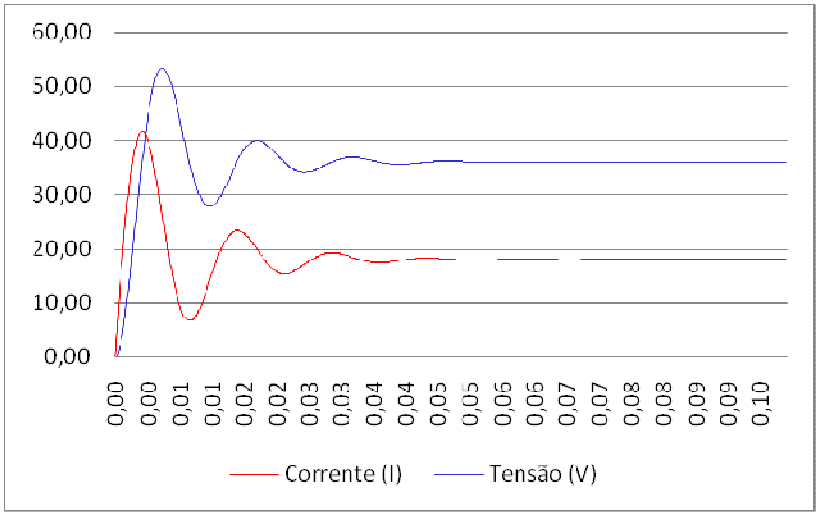

Figura 9 – Curvas da corrente (I) no indutor e da tensão (V) no capacitor.

Conforme Ortiz e Silva (2006) na ocorrência de variações na tensão de entrada ou na carga, que produzem variações na tensão de saída V_O, o controle, por ser de laço aberto, não poderá agir de maneira rápida de modo a manter a saída no valor desejado, causando um erro no funcionamento do circuito. E para evitar este problema, pode-se simular o conversor abaixador de tensão com controle PI-PWM, no qual é forçada uma mudança no valor da carga do circuito.

5. CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA FUTUROS TRABALHOS

Neste trabalho foi simulado o conversor abaixador de tensão, que se constitui num equipamento de suma importância em um sistema de geração de energia fotovoltaica. A utilização da energia fotogerada diretamente na carga,

sem o uso de baterias tem sido uma tendência, considerando a possibilidade de alimentação direta de motobombas para pequenos sistemas de irrigação e principalmente com o advento dos inversores, na utilização direta na rede do sistema elétrico interligado. Com isso, elimina-se o custo de baterias e minimiza-se as perdas ocorridas nos circuitos. Este trabalho apresenta resultados parciais de dissertação de Programa de Mestrado, que visa a simulação de um sistema fotovoltaico completo, apresentado no Diagrama de Laço Causal, o qual será simulado no software Powersim® utilizando a técnica de Dinâmica de Sistemas e assim, será possível uma análise completa da influência de cada variável na eficiência de todo o sistema. Esta técnica permite, além da resolução do sistema de equações diferenciais, uma demonstração do funcionamento do sistema e a influência mútua de cada variável de uma forma mais didática e de fácil visualização.

Como proposta para futuros trabalhos sugere-se a modelagem de um circuito que faça o controle automático de despacho de carga na interligação com o sistema elétrico.

Agradecimentos

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo, a qual propiciou a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Almeida, M.P. et.al. 2008. Desenvolvimento de um controlador de carga do tipo ON/OFF. Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas – GEDAE, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará. II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES – Florianópolis.

Ferreira, R.J.A. 2008. Carro a Energia Solar. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Heckttheuer, L. A. 2001. Análise de Associações de Módulos Fotovoltaicos. Tese de Doutorado. PROMEC/UFRGS, Porto Alegre.

Maani, K. E.; Cavana, R. Y. 2000. System Thinking and Modelling: Understanding Change and Complexity. New Zealand: Pearson Education New Zealand Limited. p.262.

Ortiz, J.L.R.; Silva, L.C.A.P. 2006. Modelagem e Simulação de um Sistema de Geração Distribuída. Artigo de iniciação científica, CNPQ-PIBIC. UFMS, Departamento de Engenharia Elétrica. Campo Grande, MS.

Pacheco, J.P.; Gules, R. 2009. Otimização da energia gerada por áinéis solares fotovoltaicos em sistemas isolados da rede elétrica. Curitiba – Paraná. I Mostra Anual de Pesquisa e Pós-graduação do CPGEI, Curitiba.

Pomilio, J.A. 2009. Eletrônica de Potência. DSCE – FEEC – UNICAMP, Campinas.

Powersim. 2003. Help for Powersim Estudio Enterprise 2003. Software Powersim – Service Release 6.

Rashid, M. 1993. Power Electronics: Circuits, Devices and Applications. Prentice Hall International, Second Edition.

Rosemback, R. H. 2004. Conversor CC-CC Bidirecional Buc-Boost atuando como Controlador de Carga de Baterias em um Sistema Fotovoltaico. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. UFJF. Juiz de Fora, MG.

Seguel, J. I. L. 2009. Projeto de um Sistema Fotovoltaico Autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital. Dissertação de mestrado, UFMG, Belo Horizonte-MG, 2009.

Vera, L. H. 2004. Programa Computacional para Dimensionamento e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre.

USE OF THE SYSTEMS DYNAMIC TECHNIQUE IN MODELING AND SIMULATION OF DC-DC BUCK CONVERTER APPLIED IN ISOLATED SYSTEMS OF GENERATION OF PHOTOVOLTAIC ENERGY

Abstract. *The use of photovoltaics directly into the load without the use of batteries is becoming a trend, considering the possibility of feed pumps for irrigation and especially with the advent of the inverters, the direct use on the network, the interconnected electrical system. This paper presents the mathematical modeling and computational implementation of a Buck DC-DC converter using the software Powersim ®. The equations of state were formulated in function of the operating characteristics of the Buck converter and its solution obtained using the technique of dynamic systems. Shows the causal loop diagram of a system of photovoltaic power generation and stock and flow diagram of step-down voltage converter, emphasizing the importance of this converter in the process of connecting the photovoltaic panel to load. The results showed good performance of the modeling system conversion, which constitute a partial step of the dissertation project, which involves the modeling of a system of photovoltaic power generation complete. One advantage presented in the methodology of system dynamics is the possibility of better approach to issues of environmental sustainability, focusing on the variables of weather and environmental impacts.*

Key words*: Photovoltaic System, Renewable source, Step down voltage converter, Dynamics of systems.*