



Energia Solar Aplicada aos Centros Comunitários de Produção

GUIA PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETOS

**Eletrificação Rural Sustentável e o
Uso das Fontes Renováveis de Energia**

Volume 2





**Energia Solar
Aplicada aos Centros
Comunitários de Produção**



Energia Solar Aplicada aos Centros Comunitários de Produção

GUIA PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS

1ª Edição

Coletânea: Eletrificação Rural Sustentável e o
Uso das Fontes Renováveis de Energia

Volume 2

Rio de Janeiro . 2016



Copyright © 2015 Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobras
Rua do Ouvidor, 107/ 11º andar - Centro
CEP 20.040-031 - Centro - Rio de Janeiro . RJ
gpc@eletrobras.com
biblioteca@eletrobras.com

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobras
Diretoria de Geração - DG
Superintendência de Gestão de Programas Setoriais - GP
Departamento de Coordenação de Programas Setoriais - GPC
Divisão de Estudos Técnicos de Projetos Setoriais - GPCE

Projeto de Cooperação Técnica - BRA/IICA/09/001

Créditos

Supervisor

Thales Terrola e Lopes

Seleção, Organização e Revisão Técnica das Informações

Alex Artigiani Neves Lima

Cláudio Monteiro Lima de Carvalho

Eduardo Luís de Paula Borges

Fernando Oliveira Mateus

Israel Wallysson Freitas da Silva

Marcello Soares Rocha

Thales Terrola e Lopes

Texto Original

Carlos Alberto Alvarenga - Consultor IICA

Ilustrações

Thais Monteiro de Farias e Herika Nogueira

Foto Capa

Sistema fotovoltaico instalado em casa de família beneficiada com o projeto piloto de Xapuri.

Xapuri - AC

Jorge Luis Pires Coelho

Copidesque e Revisão ... Projeto Gráfico e Editoração

Herika Corrêa Nogueira - Consultora IICA

Todos os direitos reservados.

Partes deste livro podem ser reproduzidas, desde que previamente autorizado e com citação da fonte.

www.eletrobras.com

www.iica.org.br

C733

Energia Solar aplicada ao Centros Comunitários de Produção / Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobras). Divisão de estudos técnicos de projetos setoriais. - Rio de Janeiro: Eletrobras, 2016.

Volume 2: Eletrificação rural sustentável e o uso das fontes renováveis de energia.

ISBN 978-85-87083-55-5

1. Eletrificação Rural - Brasil.
2. Elaboração de Projetos. I. Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobras). II. Título.

CDD 621.393

Agradecimentos

“A universalização do serviço público de energia elétrica de áreas remotas e isoladas na Região Norte é um grande desafio, que deve ser superado com a conjugação de esforços de diversos atores do setor elétrico envolvidos, de forma sustentável, considerando os recursos naturais locais”.

Eduardo Luís de Paula Borges

Gerente da Divisão de Estudos Técnicos de Projetos Setoriais da Eletrobras e Diretor Substituto do Projeto de Cooperação Técnica BRA/IICA/09/01

Ao Senhor Celson Frederico Corrêa dos Santos, gerente do Departamento de Coordenação de Programas Setoriais da Eletrobras e Diretor do Projeto de Cooperação Técnica (PCT), intitulado “Acesso e uso da energia elétrica como fator de desenvolvimento de comunidades no meio rural brasileiro”, celebrado entre a Eletrobras e o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura - IICA.

Ao consultor, senhor Carlos Alberto Alvarenga, autor do material base desta obra e ao seu supervisor, o Engenheiro Cláudio Monteiro Lima de Carvalho. Agradecemos também ao Engenheiro Fernando Oliveira Mateus, autor da introdução deste trabalho, ao supervisor de redação deste livro, o Engenheiro Thales Terrola e Lopes e a toda a equipe da Divisão de Estudos Técnicos de Projetos Setoriais e da Divisão de Promoção da Cidadania Empresarial e Projetos Socioambientais da Eletrobras, que contribuíram para o enriquecimento deste trabalho.

Aos colegas Engenheiro Dennys Cordeiro Senna, da Eletrobras Distribuição Acre, Engenheira Giorgiana Freitas Pinheiro, da Celpa, Engenheiros Geraldo Vasconcelos Arruda Neto e Telma Silva de Paula, da Eletrobras Amazonas Energia, e ao Engenheiro Silvan Magno de Noronha, da Eletrobras Distribuição Rondônia, que juntamente com suas equipes são parceiros no desafio de encontrar soluções para a eletrificação rural de áreas remotas da Região Norte do país.

Sumário

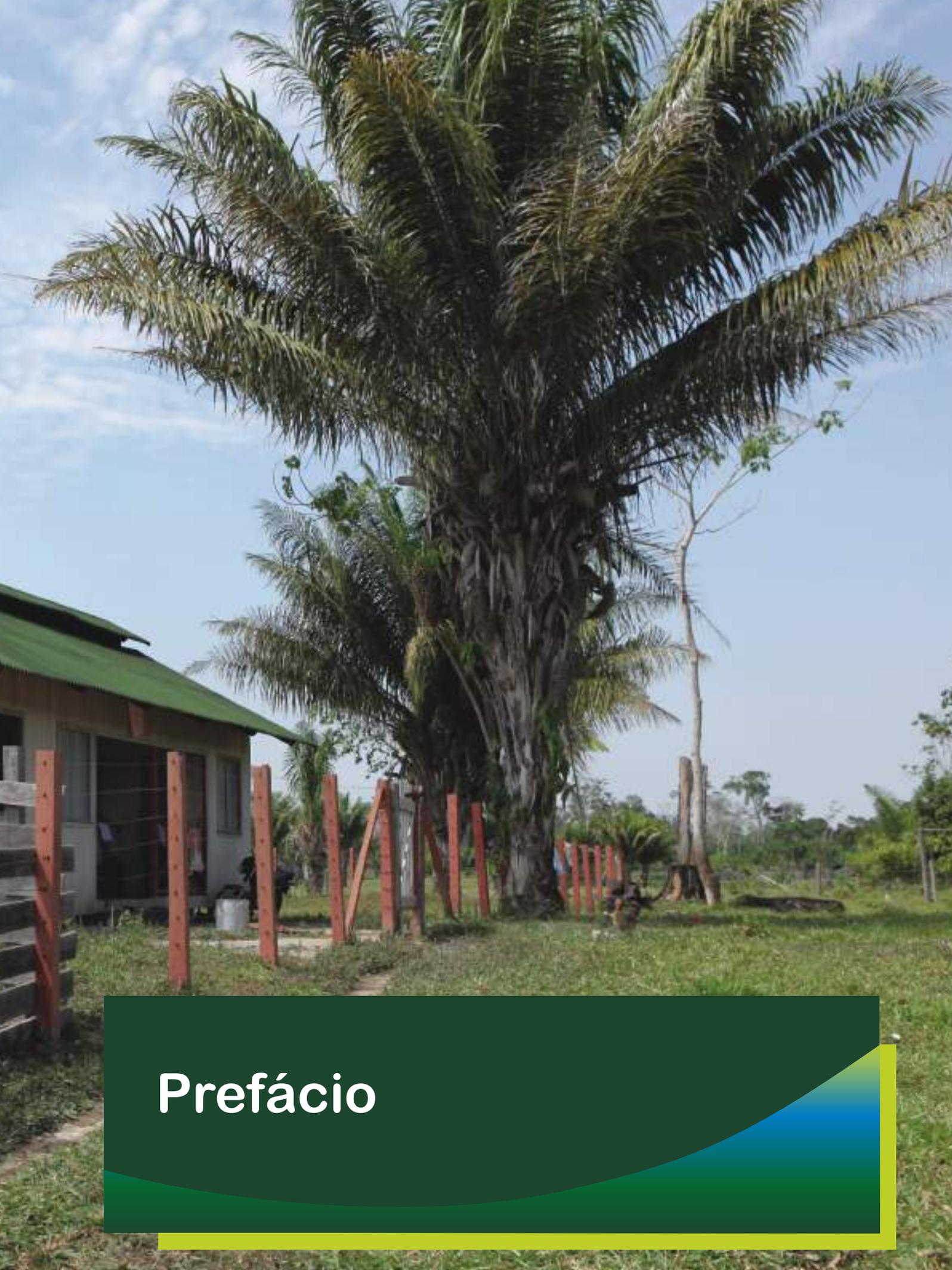
Prefácio	13
Introdução	19
Capítulo 1 . Sistema de Geração de Eletricidade	23
. Considerações Gerais	25
. Módulo Fotovoltaico	26
. Bateria	28
. Controlador de Carga	30
. Inversor	32
. Motogerador	34
. Soft Starter	36
Capítulo 2 . CCP para Pescado Fresco	39
. Centro Comunitário de Produção para Beneficiamento de Pescado Fresco	41
. Análise e Definição do Processo Produtivo	42
. Necessidade de Gelo e Refrigeração	42
. Equipamentos Necessários para o Processo Produtivo	45
. Dimensionamento da Unidade Produtiva	51
. Dimensionamento dos Equipamentos da Unidade Modular	52
Capítulo 3 . CCP para Polpas de Frutas	61
. Centro Comunitário de Produção e Conservação de Polpas de Frutas	63
. Análise e Definição do Processo Produtivo	64
. O Processamento de Polpas de Frutas	64
. Equipamentos Necessários para o Processo Produtivo	67

. Dimensionamento da Unidade Produtiva	72
. Dimensionamento dos Equipamentos da Unidade Modular	73
Capítulo 4 . CCP para Farinha de Mandioca	81
. Centro Comunitário de Produção de Farinha de Mandioca	83
. Análise e Definição do Processo Produtivo	84
. O Processamento da Farinha de Mandioca	84
. Equipamentos Necessários para o Processo Produtivo	87
. Dimensionamento da Unidade Produtiva	94
. Dimensionamento dos Equipamentos da Unidade Modular	95
Capitulo 5 . Recomendações Gerais	103
. Recomendações para Instalação, Operação e Manutenção	105
. Logística de Projeto e Instalação do Sistema de Geração de Eletricidade	106
. Instalação dos Módulos Fotovoltaicos	107
. Instalação dos Equipamentos do Sistema de Geração de Eletricidade	109
. Instalação dos Equipamentos do Processo de Produção	112
. Recomendações para Operação e Manutenção	114
. Recomendações para Treinamento	115
Anexos	117
. Anexo I - Dados de Radiação Solar	119



Escola Estadual Sairé
Sairé - Acre

Escola no Seringal Iracema . Xapuri . Acre
Crédito: Jorge Luis Pires Coelho



Prefácio



Escola Estadual Rural
SOLAR
Ensino Fundamental

Eletrificação Rural por Fontes Renováveis para Beneficiamento de Produtos em Comunidades Remotas

O Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz Para Todos - é um programa de eletrificação rural criado pelo Governo Federal e instituído pelo Decreto nº4.873, de 11 de novembro de 2003. Considerado um dos maiores programas de eletrificação rural do mundo, o Programa Luz Para Todos beneficiou inúmeras comunidades no interior do país com o serviço público de energia elétrica. O Programa é coordenado pelo Ministério das Minas e Energia (MME), operacionalizado pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras) e executado pelas concessionárias de distribuição ou pelas cooperativas autorizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Apesar do significativo avanço do Programa em âmbito nacional, uma parcela da população, que vive principalmente em áreas remotas da região amazônica, ainda carece do benefício do serviço público de energia elétrica. Nessas localidades, levar energia por meio da extensão de redes convencionais de distribuição é uma tarefa inviável por questões técnicas, econômicas ou ambientais. Diante desse desafio, os atores do setor elétrico envolvidos: MME, ANEEL, Eletrobras e Agentes Executores do Programa Luz Para Todos, têm buscado soluções alternativas para a universalização do serviço de energia elétrica, onde as fontes renováveis de energia se apresentam como uma das opções para a eletrificação rural.

Assim, a Eletrobras estabeleceu uma parceria com o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura - IICA, celebrando o Projeto de Cooperação Técnica BRA/IICA/09/001 "Acesso e uso da energia elétrica como fator de desenvolvimento de comunidades do meio rural brasileiro", em 18 de março de 2009, com a finalidade de criar processos e metodologias para o desenvolvimento de capacidades, na Eletrobras e em seus parceiros, para a execução de projetos com foco no atendimento de energia elétrica para as comunidades que carecem desse serviço, com ênfase na utilização de fontes renováveis e seu uso produtivo como vetor de desenvolvimento dessas comunidades.

A dificuldade para a universalização do serviço de energia elétrica em áreas remotas não se restringe apenas às questões logísticas e técnicas, pois ela também passa pelas questões regulatórias e legais. Diante dessa realidade, a Resolução Normativa da ANEEL nº 493, de 5 de junho de 2012, estabeleceu os procedimentos e as condições de fornecimento por meio de Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica - MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente - SIGFI. O Decreto nº 8.387, de 30 de dezembro de 2014, estabeleceu a vigência do Programa Luz Para Todos para até 2018, enquanto o Decreto nº 8.493, de 15 de julho de 2015, determinou que os atendimentos às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados sejam feitos através de contratações no âmbito desse Programa.

Pesquisas realizadas na esfera dos programas de eletrificação rural indicam que apenas o acesso à energia elétrica não garante o desenvolvimento socioeconômico local das comunidades. É preciso levar algo mais, que possibilite melhorar a condição de renda dessas comunidades com o uso da eletricidade. Assim, o Governo Federal e a Eletrobras têm investido no desenvolvimento dos Centros Comunitários de Produção - CCP, com o objetivo de promover o uso produtivo e eficiente da energia elétrica. Nesse contexto e considerando a atual fase do Programa, em que as comunidades sem energia elétrica estão localizadas em áreas remotas e isoladas, ganham força os projetos de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis para o suprimento de unidades modulares de produção.

Assim, as novas iniciativas deverão estar focadas na busca de sustentabilidade para esses novos tipos de projetos, considerando o arcabouço regulatório relativo à eletrificação rural e às questões sobre tecnologias e modelos de gestão, de forma a minimizar riscos para as concessionárias de distribuição. Além disso, devem ser priorizadas as ações para difundir técnicas e orientações aos consumidores sobre o uso produtivo e eficiente da energia elétrica.

Esperamos que este livro seja um instrumento de capacitação, ou orientação, para profissionais do Setor Elétrico e auxilie os Agentes Executores, ou seja, as concessionárias de distribuição e as cooperativas de eletrificação rural autorizadas, no alcance de suas metas de universalização do acesso ao serviço de energia elétrica, com a replicação de projetos de geração por meio de sistemas solares fotovoltaicos para beneficiamento de produtos primários em comunidades rurais localizadas em áreas remotas, impossibilitadas de atendimento pela rede de distribuição.

Eduardo Luís de Paula Borges

Gerente da Divisão de Estudos Técnicos de Projetos Setoriais da Eletrobras

Diretor Substituto do Projeto de Cooperação Técnica BRA/IICA/09/01



Miniusina fotovoltaica . Sobrado . AM.
Crédito: Israel Wallysson



Introdução



Centros Comunitários de Produção Utilizando a Fonte Solar de Energia

Ao longo da história recente, a energia elétrica tem se mostrado como um vetor de desenvolvimento de extrema importância. O seu acesso, além da possibilidade de oferecer conforto com o uso de eletrodomésticos e iluminação nos lares e nas cidades, também viabiliza o uso de máquinas e equipamentos empregados para diversas finalidades. Com a eletricidade pode-se dispor de equipamentos empregados na área da saúde, para a produção de alimentos e processos industriais dos mais variados tipos e necessidades do homem moderno.

No Brasil, programas de eletrificação têm se sucedido, atendendo principalmente as regiões do interior. Atualmente, está em processo o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz para Todos (BRASIL, 2003). Ao longo desses 12 anos, cerca de 15,3 milhões de brasileiros do interior passaram a dispor desse serviço regular, principalmente nas regiões em que há viabilidade para o atendimento com extensão de redes de distribuição elétrica convencionais. Entretanto, o atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados, no âmbito do Programa Luz para Todos, na forma do Decreto do Executivo Nº 8.493/2015, em que a única opção viável é a utilização de fontes alternativas de energia, principalmente a solar, permanece ainda como um grande desafio e são relativamente poucos os sistemas já instalados, implantados como projetos pilotos autorizados pela ANEEL. Hoje, milhares de brasileiros que vivem em regiões remotas, principalmente em localidades na Amazônia, sofrem restrições no suprimento de energia elétrica em seus lares, estando limitados ao uso de geradores a óleo diesel ou gasolina, por poucas horas diárias.

Existe farta literatura demonstrando que a energia elétrica está associada ao desenvolvimento das populações^{1,2}. No que tange ao aspecto econômico, no meio rural, onde está concentrada a maioria das comunidades ainda na escuridão, normalmente as oportunidades para geração de renda estão limitadas às vocações locais. Assim, o acesso à energia elétrica para essas populações deve ser visto não apenas como uma oportunidade para melhoria da qualidade de vida dos novos consumidores, mas principalmente como um importante vetor de desenvolvimento, com capacidade para promover um crescimento econômico importante.

Uma das alternativas já testadas com êxito pela Eletrobras, como indutor do desenvolvimento sustentável de comunidades rurais, é a implantação de Centros Comunitários de Produção (CCPs). Os CCPs são empreendimentos coletivos onde produtores, reunidos em uma associação ou cooperativa, podem realizar o beneficiamento dos produtos que colhem em suas propriedades, ou capturam da natureza, em processos viabilizados a partir da disponibilidade da energia elétrica. O objetivo principal é promover o uso produtivo da energia elétrica, que passa a ser um insumo de produção que possibilita a transformação das matérias-primas em produtos agropecuários e extrativistas com valor agregado.

¹ PASTERNAK (2000) com os dados de uma série de países demonstrou essa correlação e verificou que nenhum país com consumo anual per capita de eletricidade inferior a 4.000kWh possui o IDH superior a 0,9.

² DEMARTINO e LÉ BLANC (2010) comprovaram as conclusões de PASTERNAK ao analisarem os vinte países mais populosos no período de 1975 a 2005. A curva de evolução do IDH também revelou uma grande correlação com o consumo de energia elétrica.

Por outro lado, dada as suas características, as oportunidades de geração de renda nas localidades isoladas são bem menores do que naquelas regiões atendidas com redes elétricas convencionais, que normalmente possuem maior facilidade de comunicação e acesso. Se para as comunidades com maior facilidade de acesso a implantação de um CCP representa uma ótima solução para a geração de renda sustentável, nas comunidades mais isoladas, talvez seja a única alternativa para promover, inclusive, a segurança alimentar com a produção de alimentos processados, atendendo aos requisitos sanitários e respeitando o meio ambiente. Entretanto, são exatamente nessas localidades que se verificam as maiores dificuldades para a implantação de unidades que promovam o uso produtivo da energia elétrica.

Dentro do programa de universalização da energia elétrica, ora em curso, o atendimento domiciliar não representa grandes desafios, já que a carga a ser disponibilizada é definida pelo agente regulador e é fixa para cada unidade consumidora. Assim, os projetos de atendimento podem ser replicados sem maiores dificuldades técnicas. No entanto, o funcionamento de uma pequena agroindústria, como um CCP, depende do tipo de beneficiamento que será realizado. Isso significa que o agente do setor elétrico precisa conhecer as características dos processos e os equipamentos que serão utilizados, de modo a poder estabelecer a curva de carga daquele empreendimento. Isso é necessário para que se possa dimensionar o sistema de geração mais adequado, eficiente e econômico.

Como contribuição para que isso se concretize, a Eletrobras apresenta, neste exemplar, projetos de referência para o atendimento elétrico com fontes renováveis intermitentes para suprir o funcionamento de três tipos de Centros Comunitários de Produção, que realizam processos bastante comuns, sobretudo na região amazônica. Evidentemente, como são projetos de referência, partem de condições de contorno típicas dessas regiões, mas que podem ser aprimorados pelos agentes do setor elétrico que desejem implementar essas unidades produtivas, conforme a realidade da comunidade a ser efetivamente beneficiada com a iniciativa.

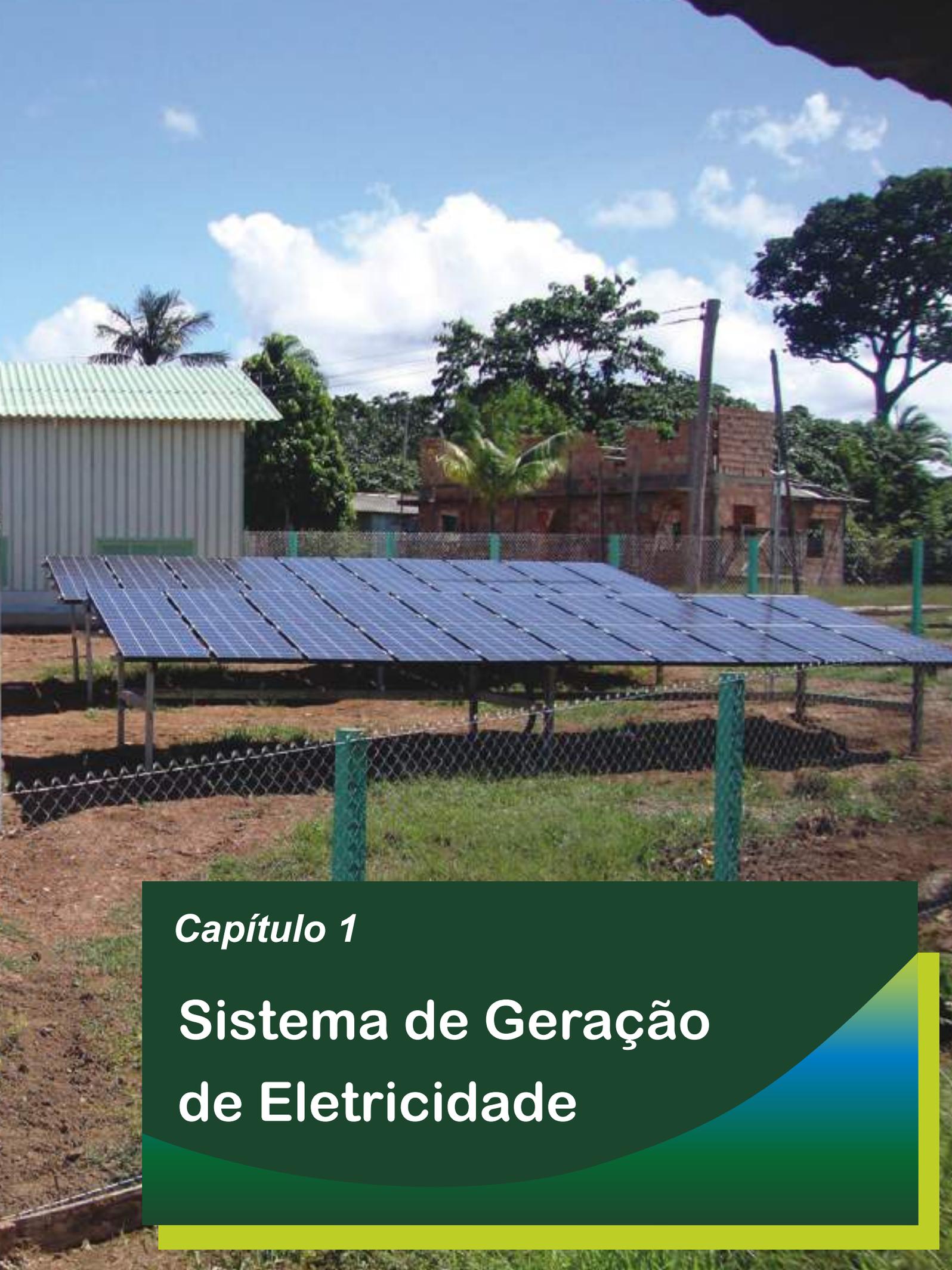
Assim, o Capítulo 1 traz a descrição de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica aplicável para o processo produtivo de um CCP em regiões remotas, apresentando os seus equipamentos constituintes, sua durabilidade e características, entre outros dados, visando o dimensionamento mais adequado para o uso da fonte solar.

Nos Capítulos 2, 3 e 4 o leitor encontrará a descrição dos estudos realizados para a concepção dos modelos de unidades modulares de geração de energia elétrica que atendam os conjuntos de motores de máquinas de produção para os CCPs de pescado fresco, polpa de fruta e farinha de mandioca, respectivamente. Os estudos em questão foram desenvolvidos considerando as características socioeconômicas e as necessidades de produção das pequenas comunidades rurais situadas em regiões remotas e distantes da rede de energia elétrica convencional.

Para finalizar, as recomendações gerais expostas no Capítulo 5 apresentam as melhores práticas e processos dos CCPs para os três produtos citados, com orientações sobre logística, instalação de equipamentos do sistema de geração elétrica e do processo de produção, e para operação, manutenção e treinamento.



Conjunto de módulos fotovoltaicos de miniusina . Sobrado . AM
Crédito: Israel Wallysson



Capítulo 1

Sistema de Geração de Eletricidade



Considerações Gerais

O gerador fotovoltaico trabalha com uma fonte limitada de energia, que é a energia solar incidente sobre os módulos, e também variável com fatores meteorológicos de difícil previsão. Por outro lado, a energia elétrica é solicitada ao gerador de acordo com as necessidades do produtor. O dimensionamento do sistema de geração de eletricidade procura compatibilizar essas duas condições dentro de determinados níveis de confiabilidade e custos, pois para o sistema atender todas as necessidades de energia do consumidor, com total garantia durante todo o ano, seria necessário projetar um sistema para as mais severas condições meteorológicas e para as situações de maior uso da eletricidade, o que poderia levar a custos inaceitáveis. Com a inclusão opcional de um motogerador a combustível, de retaguarda, é possível dimensionar o gerador fotovoltaico para uma situação média no mês mais crítico, já que, nos períodos de produção excepcionalmente elevada ou de nebulosidade prolongada, o motogerador pode suprir parte da energia elétrica demandada.

O dimensionamento criterioso do sistema de geração de eletricidade deve levar em conta, além dos níveis de radiação solar da região, os equipamentos produtivos que serão utilizados e o tempo de utilização deles, além das normas legais vigentes. Na observância desses fatores, podemos chegar a um dimensionamento criterioso, que viabilize o sistema do ponto de vista econômico e que atenda a necessidade do produtor.

Uma premissa essencial para o êxito das instalações é que as limitações de potência elétrica dos equipamentos de geração e as características de consumo de energia dos equipamentos de produção sejam informadas aos produtores, para que não operem o sistema de forma equivocada. É preciso alertá-los sobre a necessidade de utilizar equipamentos energeticamente mais eficientes e também evitar o uso de equipamentos não previstos no projeto, como ventiladores, chuveiros elétricos e outros que apresentam consumo elevado de eletricidade.

Caso os Centros Comunitários de Produção (CCPs) sejam caracterizados como um Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica - MIGDI, ou como um Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente - SIGFI, os projetos deverão obedecer à regulamentação específica da ANEEL, incluindo a Resolução Normativa N° 493, de 5 de Junho de 2012, que estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento de eletricidade por meio de sistemas MIGDI ou SIGFI para o atendimento das populações remotas.

Partindo da premissa de que a geração fotovoltaica é a mais adequada para a produção de eletricidade no processo produtivo do CCP, descrevemos, a seguir, os equipamentos utilizados no sistema de geração. Como comentado acima, um motogerador a óleo diesel foi incluído no sistema com o objetivo de proporcionar uma complementação ao sistema fotovoltaico nos períodos de baixa insolação prolongada ou nos períodos de produção excepcionalmente elevada do CCP.

Módulo Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico é a unidade primária de produção de energia responsável por transformar a energia radiante do Sol em eletricidade, sob a forma de corrente contínua. O módulo consiste de uma estrutura montada em um quadro, geralmente de alumínio, composto por um conjunto de células fotovoltaicas ligadas eletricamente entre si, normalmente em série, cobertas por um encapsulamento que as protege, e também suas conexões, da ação do tempo e dos eventuais impactos. As células são cobertas, do lado exposto ao Sol, por uma camada transparente, normalmente de vidro, plástico ou resina de silicone, mais um revestimento capsular, geralmente de EVA (Etil Vinilacetato). Na parte traseira, as células são revestidas por uma cobertura posterior, usualmente de Tedlar. Todos esses revestimentos, em conjunto com o quadro de alumínio, resultam em uma estrutura rígida e resistente ao manuseio e às intempéries. Cuidados especiais devem ser tomados na limpeza e no manuseio para não quebrar, arranhar o vidro ou furar os módulos.

Na página seguinte, a Tabela 1-1 apresenta alguns módulos fotovoltaicos disponíveis no mercado nacional e certificados pelo INMETRO. Estão listados apenas módulos de silício cristalino, por serem mais comuns no mercado. Uma relação completa pode ser obtida no *site* do INMETRO: http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/Fotovoltaico_Modulo.pdf.



Módulo Fotovoltaico de Silício Cristalino					
Marca	Modelo	Potência Nominal	Produção de Energia		
		Wp	Wh/dia	Wh/dia/Wp	kWh/mês/Wp
Solar Word	SW 140	140	280	2	60
	SW 235	235	470	2	60
Tenometal	SV-240D20	240	480	2	60
Yingli Solar	YL240P 29b	240	480	2	60
Kyocera	KD245GH-4FB2	245	490	2	60
Bosch	M60	250	500	2	60

Tabela 1-1: Exemplos de módulos fotovoltaicos de silício cristalino disponíveis no mercado.

Os módulos fotovoltaicos apresentados têm potência variando entre 140 e 250 Wp. São mais indicados módulos fotovoltaicos de maior capacidade e com maior número de células em série e, portanto, com maior tensão de máxima potência. Eles permitem uma maior flexibilidade na instalação e um menor custo por unidade de potência instalada. São módulos constituídos por 48 a 72 células em série, o que resulta em uma tensão de máxima potência na faixa entre 23 V e 35 V em temperatura de operação. Os módulos fotovoltaicos de tensão mais elevada, utilizados em sistemas conectados à rede, podem ser empregados em sistemas autônomos com baterias, desde que seja utilizado o controlador de carga MPPT (*Maximum power point tracking*), que permite ao módulo fotovoltaico trabalhar em seu ponto de máxima eficiência. Apesar do preço mais elevado do controlador de carga MPPT, o seu uso pode ser atrativo economicamente devido ao seu custo por Wp ser menor e também devido à maior eficiência na geração de energia elétrica.

Recomendamos que sejam utilizados módulos de boa qualidade, certificados pelo INMETRO e que atendam as normas IEC 61215 - “Certificação da qualidade do produto: qualificação do design e aprovação do tipo” e IEC 61730 - “Certificação de segurança elétrica”. Devem ter garantia de fábrica contra defeitos de fabricação maior ou igual a 5 anos e garantia de potência de pelo menos 90% durante 10 anos, e pelo menos 80% durante 25 anos.

Bateria

Existem diversos tipos de baterias utilizando tecnologias e materiais distintos, que resultam em equipamentos de tamanhos, pesos, capacidades de armazenamento, custos e durabilidade muito diferentes. As baterias não estacionárias são especificamente projetadas para veículos, nos quais se deseja corrente elevadas e descargas não profundas. Devem ser evitadas em sistemas fotovoltaicos. As baterias estacionárias trabalham mais em flutuação, fornecendo energia para a carga com esporádicos ciclos mais profundos de descarga e carga. Baterias estacionárias são, em geral, mais caras, porém apresentam maior tempo de vida, o que pode ser importante para locais isolados e com pouca infraestrutura para a troca do equipamento.

As baterias estacionárias de chumbo-ácido seladas são amplamente utilizadas em sistemas fotovoltaicos para atendimento de regiões remotas no Brasil. Essas baterias dispensam a adição periódica de água e tem preço competitivo. Existem também baterias especificamente projetadas para ciclos mais profundos e que apresentam uma maior durabilidade em sistemas fotovoltaicos, com ciclos diários de carga e descarga e com esporádicos ciclos mais profundos. A bateria do tipo tubular de chumbo selada (OPzS ou OPzV), apesar de ter um custo mais elevado, apresenta vida útil maior, característica muito importante nas regiões remotas da floresta amazônica. Essas baterias são, atualmente, mais usadas em sistemas de telecomunicação e



exigem uma adição de água periódica para completar o nível do eletrólito, sendo que alguns fabricantes exigem uma vistoria geral a cada seis meses. É preciso verificar com o fabricante a possibilidade de fazer somente uma vistoria anual, sem perder a garantia, pois a vistoria semestral pode ficar excessivamente custosa.

A decisão sobre o tipo de bateria a ser adotada, entre chumbo-ácido selada e OPzS/OPzV, deve levar em conta os custos iniciais e de troca do banco de baterias, a vida útil e os custos com a adição periódica de água. Enquanto se pode esperar uma vida útil de 2 a 3 anos da bateria chumbo-ácido selada, na OPzS/OPzV a vida útil pode chegar de 6 a 8 anos. Esse tempo de vida útil foi levantado a partir de dados disponibilizados nas tabelas de vida útil dos fabricantes. Vale ressaltar que a durabilidade da bateria deve ser melhor analisada por meio do monitoramento da sua condição de operação nas condições da floresta tropical e úmida. Também deve ser avaliada a dificuldade de aquisição das baterias OPzS/OPzV, menos frequentes no mercado nacional.

A Tabela 1-2 apresenta alguns modelos de baterias estacionárias de chumbo-ácido selada e OPzS disponíveis no mercado nacional.

Baterias Estacionárias para Sistemas Fotovoltaicos					
Marca	Modelo	Tipo	Tensão	Capacidade C10	
			V	Ah/10h	Wh/10h
Freedom	DF4001	Chumbo-ácido	12	200	2.400
Moura Clean	12MF220	Chumbo-ácido	12	195	2.340
Outback	AlphaCell	OPzS	2	420	840
BAE	Secura OPzS	OPzS	2	886	1.772
Hoppecke	6 OPzS Solar	OPzS	2	910	1.820

Tabela 1-2: Marcas e modelos de baterias para sistemas fotovoltaicos disponíveis no mercado nacional.

Controlador de Carga

O controlador de carga é um equipamento utilizado em sistemas fotovoltaicos basicamente para proteção das baterias, garantindo vida útil mais elevada, pois protege a bateria contra o carregamento excessivo que acarreta elevação da temperatura em sua operação. O controlador de carga é muito importante, considerando que a bateria é um equipamento crítico no sistema e responsável por parte significativa das despesas operacionais, uma vez que apresenta a necessidade de troca periódica. Alguns modelos monitoram e apresentam o estado das baterias, as condições de carga, entre outros indicadores úteis para a avaliação de desempenho, sinalizando para o usuário o que está acontecendo com o sistema.

O controlador de carga do tipo MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), com rastreamento do ponto de máxima potência, possibilita um melhor aproveitamento da energia gerada pelo módulo fotovoltaico ao forçá-lo a operar no seu ponto de máxima potência. O controlador tradicionalmente utilizado em pequenos sistemas com baterias, simplesmente conecta o módulo fotovoltaico à bateria, fazendo com que a tensão de trabalho do módulo seja a tensão de carregamento da bateria e não a tensão de máxima potência do módulo. Já com um controlador do tipo MPPT há um ganho apreciável de potência e de rendimento no processo de carregamento.



Outra vantagem significativa do controlador do tipo MPPT é a possibilidade de utilização de módulos fotovoltaicos de maior capacidade e de maior tensão, usados nos sistemas fotovoltaicos para conexão à rede, com custo menor por Wp que os módulos de menor capacidade. Sendo assim, recomendamos o uso desse tipo de controlador no presente documento.

No mercado nacional estão disponíveis vários modelos de controladores de carga do tipo MPPT, de diferentes fabricantes e com uma grande faixa de valores de corrente e tensão máxima de operação, conforme mostrado na Tabela 1-3.

Controladores de Carga Tipo MPPT			
Marca	Modelo	Corrente Máxima	Tensão Máxima
		A	V
Morning Star	Tri Star 45 A	45	150
	Tri Star 60 A	60	150
Epsolar	eTracer ET4415N	45	150
	Tracer-4210RN	40	100
	Tracer-3215RN	30	150
	Tracer-2210RN	20	100
Steca	Tarom MPPT 6000	60	200
Phocus	MPPT 100/20-1	20	95
Schneider	XW-MPPT60/150	60	150
	XW-MPPT80/600	80	600
Outback	FM80-150	80	150
	FM60-150	60	150

Tabela 1-3: Exemplos de controladores de carga MPPT disponíveis no mercado nacional.

Inversor

Muitos equipamentos elétricos necessários ao processo produtivo do CCP estão disponíveis no mercado nacional somente em corrente alternada, comumente nas tensões de 127 V e 220 V / 60 Hz. A função do inversor nos sistemas fotovoltaicos isolados é transformar a energia elétrica contínua das baterias e dos módulos fotovoltaicos em energia elétrica alternada, adequada para esses equipamentos. Os inversores mais comuns no mercado trabalham com tensões de entrada de 12, 24 ou 48 V em corrente contínua e convertem para 120 ou 220 V na frequência de 60 Hz. Outra vantagem no uso dos inversores está no nível de tensão, que se eleva, reduzindo o diâmetro dos cabos elétricos e as perdas ôhmicas, uma vez que opera com correntes menores.

Os inversores que trabalham em sistemas isolados (*off-grid*) com baterias são autocomutados, gerando seu próprio sincronismo, diferentemente daqueles que trabalham conectados à rede elétrica convencional, que são sincronizados pela própria frequência da rede elétrica.

Dois tipos básicos de inversores para sistemas isolados são disponibilizados pelo mercado:

Inversores que apresentam uma forma de onda senoidal pura na saída;

Inversores que apresentam uma forma de onda senoidal modificada.



Quanto mais senoidal é a forma da onda, melhor é a qualidade do inversor, menor o nível de distorção harmônica e maior o seu custo. No caso de cargas complexas, como motores elétricos, recomendamos usar o inversor de onda senoidal pura.

A seleção do inversor deve ser criteriosa, pois representa um custo significativo ao projeto. Um defeito no inversor pode paralisar todo o processo produtivo do CCP, além de apresentar perdas elétricas significativas e elevar a tensão, aumentando o risco de choques elétricos. As perdas elétricas no inversor podem ser grandes, principalmente se estiver operando com carga muito reduzida e fora de sua faixa de máxima eficiência, ou também se ficar energizado em períodos de inatividade do CCP. Recomendamos que sejam usados inversores de alta eficiência, bem dimensionados, sem folga de potência e que operem em modo *stand-by*, ou permaneçam desligados quando fora de uso. É preciso que o inversor selecionado seja capaz de suportar a corrente de curta duração na partida direta dos motores. A inclusão de um *soft starter* pode reduzir o nível dessas correntes de curta duração.

Analisando as potências de curta duração demandadas pelos motores das máquinas do sistema produtivo do CCP, foram considerados valores de tensão de entrada em 48 V em corrente contínua (Vcc), saída em 220 V em corrente alternada (Vca) e potência nominal igual a 5.000 W. A capacidade de curta duração refere-se à suportabilidade do inversor a altas correntes, como na situação da partida dos motores elétricos.

Existem diversos modelos de inversores no mercado, com variações de características, potências e preços. Cabe ao projetista definir aquele que melhor se adapta às características do sistema de geração, atendendo aos requisitos da carga. A Tabela 1-4 apresenta alguns inversores *off-grid* de onda senoidal pura disponíveis no mercado nacional e que atendem às especificações descritas acima.

Inversor 48 Vcc/220 Vca - 60 Hz - Senoidal Pura				
Marca	Modelo	Nominal	Contínua	Curta Duração
		W	W	VA
SMA	Sunny Island - 5048	5.000	5.000	12.000
Schneider	XW4548 240 60	4.500	4.500	9.000
	XW6048 240 60	6.000	6.000	12.000
Outback	FX2348WT	2.300	2.300	5.750
	VFX3048W	3.000	3.000	5.750
Steca	XTH 6000	5.000	5.000	15.000

Tabela 1-4: Exemplos de inversores *off-grid* disponíveis no mercado nacional.

Motogerador

O motogerador produz energia elétrica em corrente alternada a partir de um combustível que alimenta uma máquina primária, nessa situação, um motor a combustão. No caso específico do CCP, a finalidade do motogerador será complementar a fonte solar, gerando energia nos períodos de produção excepcionalmente elevada do CCP e nos períodos de produção de energia insuficiente do gerador fotovoltaico, seja por baixa insolação, seja por necessidade de manutenção dos equipamentos da fonte principal. Devido às dificuldades de abastecimento de combustível em regiões remotas, recomendamos dimensionar os equipamentos da fonte de geração principal de forma que o motogerador opere somente em situações excepcionais.

É preciso que o motogerador tenha capacidade semelhante ao inversor, suportando as correntes de partida dos motores dos equipamentos produtivos. No mercado nacional, podem ser encontrados motogeradores monofásicos ou trifásicos, em 220 V / 60 Hz, alimentados por diesel ou gasolina, com faixa de potência nominal de 9 a 12 kVA, tanques de 13,5 a 46 litros e autonomia variando entre 4,2 e 16 horas.

As Tabelas da página seguinte apresentam algumas marcas e modelos de motogeradores monofásicos, que podem ser a diesel ou a gasolina, disponíveis no mercado nacional, com assistência técnica e garantia de fábrica.



Motogeradores 220 V - 60Hz				
Marca	Modelo	Potência		
		Nominal	Curta Duração	
		kVA	kVA	
Tramontini	GT-10	9,0	10,0	
Branco	B4T-10000	9,0	10,0	
Nagano	NDE12STA	10,5	11,5	
	NG12000E	10,0	12,0	
Toyama	TG200FGE	9,5	10,5	
Nardini	TDW22	12,0	12,5	

Modelo	Combustível	Tanque	Autonomia	Consumo
		l (litros)	h	l/h
GT-10	Diesel	13,5	7,7	1,75
B4T-10000	Gasolina	25,0	8,7	2,87
NDE12STA	Diesel	26,0	12,0	2,17
NG12000E	Gasolina	46,0	16,0	2,88
TG200FGE	Gasolina	25,0	8,7	2,87
TDW22	Diesel	16,8	4,2	4,00

Tabela 1-5: Modelos de motogeradores disponíveis no mercado nacional.

Soft Starter

O *soft starter* (chave de partida suave) é um dispositivo eletrônico que atua como chave de partida estática, permitindo uma partida mais suave. Seu uso é comum com bombas centrífugas e motores elétricos, tendo como objetivo controlar a tensão de partida dos motores de corrente alternada, atuando sobre a sua rampa de aceleração, reduzindo assim a corrente de partida.

O *soft starter* apresenta algumas vantagens em relação a outros equipamentos utilizados na partida de motores elétricos tradicionais, pois não provoca trancos e golpes no sistema mecânico do motor elétrico, com consequente aumento da vida útil do motor, além de ser de fácil operação, ajuste e manutenção.

A inclusão do *soft starter* no conjunto de equipamentos de geração de energia do CCP visa reduzir a sobrecarga no inversor e no motogerador, no momento da partida dos motores elétricos presentes no processo produtivo. Dessa forma, é possível o uso de inversores de menor potência e menor custo.



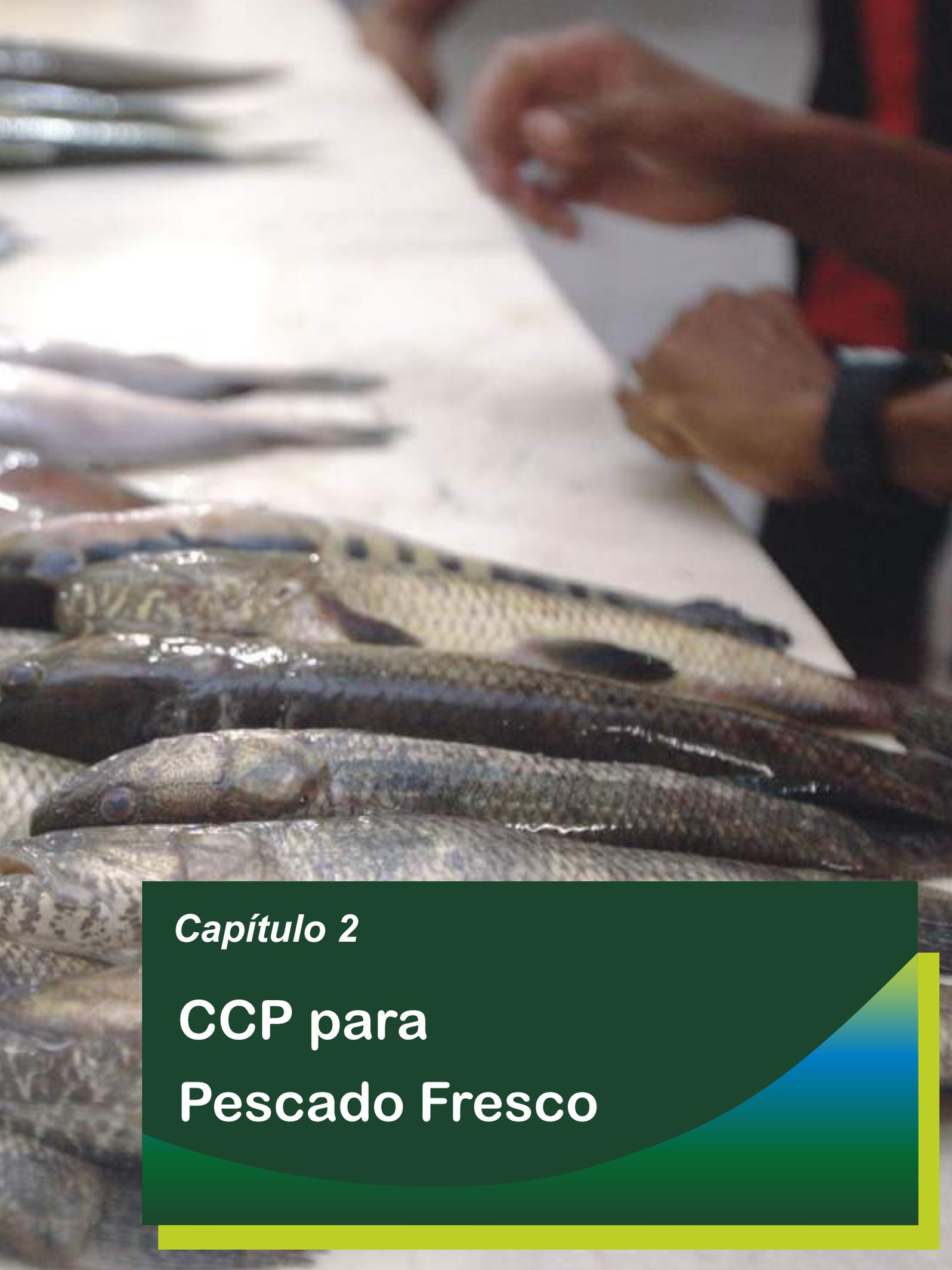
A Tabela 1-6 apresenta alguns modelos de *soft starters* para motores monofásicos de corrente alternada, com potência máxima do motor igual a 3,0 kW, disponíveis no mercado nacional.

Soft Starter para Acionamento de Motores Monofásicos				
Marca	Modelo	Corrente Nominal	Tensão Máxima	Potência Máxima do Motor
		A	V	kW
Schneider	Altistart ATS 01N103FT	12	230	3,0
Siemens	Sirius 3RW30 03	25	220	3,0
Danfoss	037N0038	25	240	3,0
ABB	PSR25-600-70	25	230	5,0

Tabela 1-6: Exemplos de *soft starters* disponíveis no mercado nacional.



Pescado fresco
Crédito: Bruno Spada



Capítulo 2

CCP para Pescado Fresco



Centro Comunitário de Produção para Beneficiamento de Pescado Fresco

Neste Capítulo são descritos os estudos desenvolvidos para a concepção de um modelo de unidade modular de geração de energia elétrica para alimentação do conjunto de cargas utilizadas na conservação de alimentos, em especial para o armazenamento de pescado fresco em Centros Comunitários de Produção (CCP), situados em áreas isoladas na região amazônica. A geração de eletricidade é baseada na aplicação de tecnologia solar fotovoltaica. A análise da complexidade dos processos e do consumo de energia elétrica dos equipamentos utilizados mostram os desafios de se processar o pescado em pequenas comunidades que não dispõem de rede elétrica convencional.

Relacionado ao escopo desse estudo, a Embrapa elaborou o seguinte manual técnico: *Recomendações Técnicas para a Implantação de uma Unidade Agroindustrial de Processamento de Pescado de Água Doce e Salgada*³; que aborda o dimensionamento de uma unidade produtiva para processamento de pescado, contudo considerando a disponibilidade de energia elétrica da concessionária de distribuição, o que permite uma maior escala de produção.

A experiência do uso de fontes alternativas de energia para atividades produtivas ainda é incipiente em nosso país, assim como as experiências fora do Brasil também não são muito significativas. Uma experiência que merece destaque pode ser encontrada em uma pequena vila pesqueira no norte do México, onde foi instalado um sistema experimental de produção de gelo utilizando um gerador fotovoltaico como fonte energética principal⁴, demonstrando a possibilidade dessa alternativa para as pequenas comunidades da Amazônia, que têm na pesca uma atividade básica fundamental.

³ Embrapa - *Recomendações Técnicas para a implantação de Unidade agroindustrial de processamento de pescado de água doce e salgada* - Anteprojetos Agroindustriais Padronizados de Empreendimentos Comunitários - PCT BRA/IIICA/09/001 - Relatório Final Produto 8.

⁴ Foster, Robert e outros - *Performance and Reliability of a PV Hybrid Ice-Making System* - ISES Solar World Congress - Australia - 2001.

Análise e Definição do Processo Produtivo

Necessidades de Gelo e Refrigeração

A unidade agroindustrial de processamento de pescado, recomendada no estudo da Embrapa, pressupõe uma escala de produção de cerca de 3.000 kg/dia de pescado, o que supera, em muito, os níveis de produção das pequenas comunidades da Amazônia e a disponibilidade energética dos sistemas de geração de eletricidade baseados na fonte solar fotovoltaica. Cada CCP, como unidade coletiva de processamento de produtos, deve refletir o perfil das comunidades pequenas, isoladas e remotas. Nessas comunidades, o projeto envolve poucas famílias beneficiadas, em geral, menos de 20 famílias por comunidade, com poucos recursos, caracterizando um modesto potencial de produção diária, se comparado ao potencial produtivo de unidades de CCPs atendidas com rede elétrica convencional. As referências ao potencial produtivo dos CCPs implicam em redução da escala produtiva e da demanda por energia. A definição dessa escala deve levar em conta também as condições gerais e exigências legais que são aplicadas aos projetos de CCPs que estão sendo implantados pelas concessionárias de eletricidade.

Segundo a Secretaria Executiva de Pesca e Aquicultura (Sepa) e a Secretaria de Estado de Produção Rural do Amazonas (Sepror)⁵, existem no Estado aproximadamente 2.000 produtores de pescado que produzem em torno de 7.000 toneladas/ano, o que resulta em 9,6 kg/dia/produtor. Considerando as limitações da comunidade remota e do sistema de geração de eletricidade, é prevista uma produção modesta de pescado, possivelmente com uma média inferior a 100 kg/dia ou 10 kg/dia/produtor, que resulta no atendimento de aproximadamente 10 pequenos produtores. Entretanto, o CCP deve ter flexibilidade suficiente e estar preparado para as naturais e sazonais variações no nível de produção, prevendo equipamentos que possibilitem atender essas variações.

Conforme a capacidade socioeconômica das comunidades, podemos prever, além da escala produtiva reduzida, uma menor complexidade do processo produtivo. Conforme descrito no estudo da Embrapa, trabalhar com alimentos altamente perecíveis, como o pescado, exige cuidados especializados e complexos, com exigências sanitárias rigorosas, implicando que os processos garantam a qualidade higiênico-sanitária e atendam aos padrões estipulados pela legislação vigente. Qualquer anormalidade detectada é motivo suficiente para o pescado ser rejeitado. Portanto, no projeto específico de um CCP para produção de pescado, todos esses aspectos devem ser levados em conta para a definição do tipo de processamento que será realizado.

A forma mais simples de processamento é a produção de peixe fresco, entendido como o produto obtido de espécimes saudáveis e de qualidade adequada ao consumo humano, convenientemente lavado e conservado somente pelo resfriamento em temperatura próxima a do ponto de fusão do gelo. O produto poderá ser comercializado inteiro ou eviscerado, com remoção das vísceras e outras partes, e deverá ser conservado e transportado em caixas térmicas com gelo, como ilustrado no primeiro fluxograma do processo da Figura 2-1.

⁵ Governo do Amazonas - APL de Produção de Pescado Cidade Polo: Tabatinga Manaus - Agosto /2008.

Uma alternativa à produção de peixe fresco é a produção de pescado congelado, produto obtido a partir da matéria-prima fresca e submetido ao congelamento. O congelamento é um processo realizado em equipamento que propicie a passagem para a zona de temperatura máxima de formação de cristais de gelo, entre $-0,5^{\circ}\text{C}$ e $-5,0^{\circ}\text{C}$, em tempo inferior a 2 horas. Segundo as Recomendações Técnicas da Embrapa³, o processo de congelamento somente é considerado completo quando o produto alcançar uma temperatura de -18°C ou inferior, em seu centro térmico, após estabilizada a sua temperatura. O segundo fluxograma da Figura 2-1 ilustra a produção de pescado congelado.

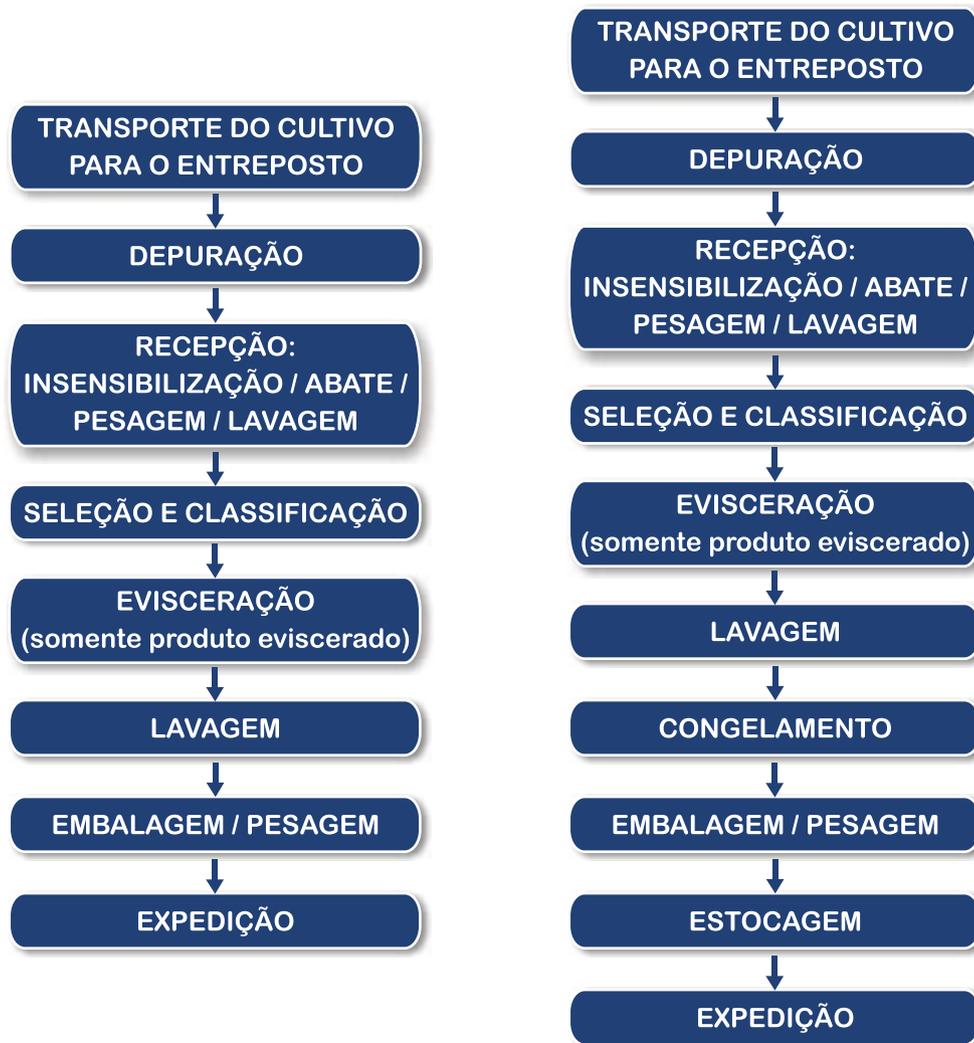


Figura 2-1: Primeiro fluxograma: Processamento de pescado fresco. Segundo fluxograma: Processamento de pescado congelado.

Ambos os processos de processamento de pescado exigem uma infraestrutura no CCP destacando-se, do ponto de vista energético, a necessidade de água abundante para a lavagem e para a produção de gelo a ser utilizado no armazenamento e transporte do pescado. No caso do peixe congelado o processo estabelece, ainda, equipamentos para congelamento e estocagem, sendo que os procedimentos recomendados para as industriais, estabelecem instalações frigoríficas específicas, de modo a separar as operações de congelamento e as de estocagem de congelados. Não é admitida a utilização de refrigeradores do tipo doméstico, como o freezer, entre outros, que impossibilitam a obtenção da qualidade exigida para o produto final. Entretanto, para o

beneficiamento do peixe fresco poderá ser previsto um congelador do tipo doméstico, como apoio ao processo produtivo, com volume suficiente para o armazenamento de pequenas quantidades de peixes.

Considerando as dificuldades operacionais e as limitações energéticas, esse documento não prevê a produção de peixe congelado como produto do CCP em questão.

O processo de filetagem (preparação de filés) exige um ambiente climatizado, com temperatura de 15° C, o que é mais difícil de ser assegurado devido à elevada temperatura ambiente da Amazônia e as limitações da fonte energética. Esse processo não será considerado para o módulo básico de CCP com a fonte de geração fotovoltaica proposta.

Na pesca extrativa, de maneira geral, os pescadores iniciam sua atividade durante a noite, quando a temperatura ambiente é mais baixa e fica mais conveniente para a conservação dos peixes. O período de pesca apresenta uma variação sazonal, de acordo com o nível do rio e de outros fatores, o que acarreta alterações na quantidade de peixes e até mesmo nos horários de retorno ao CCP. Na baixa dos rios, os períodos de pesca são mais longos que na cheia. A Figura 2-2 mostra essa variação sazonal com duração média entre 4 e 8 horas. Presumimos que essa variação se deva à maior concentração dos cardumes, tornando mais produtivo o trabalho do pescador.

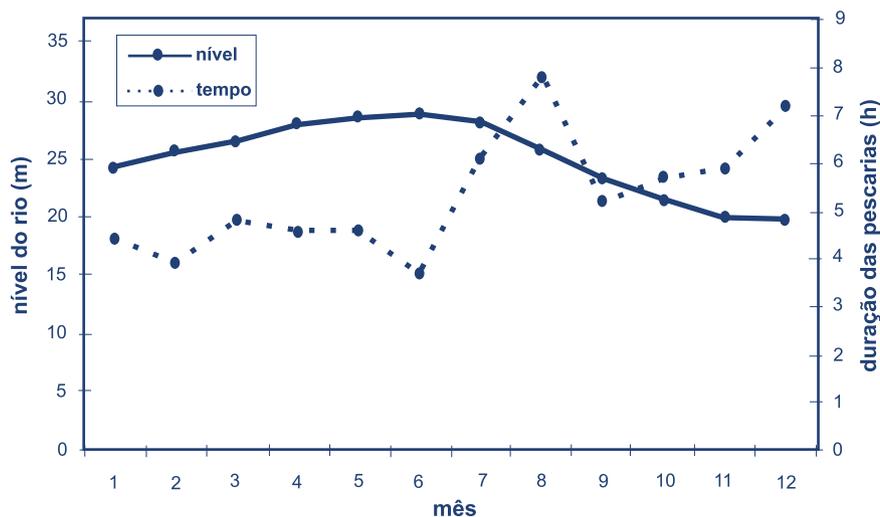


Figura 2-2: Variação sazonal da duração da pesca e do nível do rio⁶.

Como estimativa preliminar, será previsto um volume de 1 kg a 1,5 kg de gelo para cada 1 kg de peixe processado, conforme as Recomendações Técnicas da Embrapa³. Esse gelo é destinado basicamente ao armazenamento e transporte do peixe fresco. A proporção poderá variar em função das condições ambientais, da forma de transporte do pescado até o CCP e até o mercado e também em função do tempo de armazenamento. Caso a comunidade não estabeleça pontos de pesca próximos ao CCP, poderá haver maior necessidade de gelo. O gelo utilizado deve ser o de escamas, que provoca menos danos na aparência do pescado.

Considerando uma escala de produção de até 100 kg de pescado por dia, a necessidade de gelo em escamas será entre 100 kg/dia a 150 kg/dia. O gelo poderá ser produzido durante todo o dia e armazenado em reservatório isolado termicamente. A prática recomendada é produzir o gelo nos

⁶ Carlos E. C. Freitas*, V. S. (n.d.). A Pesca e as Populações Ribeirinhas da Amazônia Central. Retrieved Fevereiro 05, 2014, from [http://ecologia.ib.usp.br/seb-ecologia/revista/n199/pesca%20.html](http://ecologia.ib.usp.br/http://ecologia.ib.usp.br/seb-ecologia/revista/n199/pesca%20.html).

períodos de temperatura mais baixa, quando a eficiência da máquina de gelo é maior. Concentrar a produção de gelo no período noturno ocasiona uma maior descarga das baterias, afetando a sua durabilidade. A rotina de produção deverá ser adequada à rotina dos trabalhos de pesca e à capacidade de produção da máquina.

O gelo será necessário tanto no momento da partida para a pesca, quanto na preparação das embalagens e despacho do pescado para o mercado, dependendo da forma como os pescadores organizam o processo de venda e de despacho do peixe fresco. Um dia típico de trabalho seria produzir o gelo durante o dia, armazenando-o para uso a noite. A produção também poderia ser dividida entre o dia e a noite. Os equipamentos devem permitir essa flexibilidade aos produtores, para que ajustem a produção de gelo com a sua rotina de trabalho.

Equipamentos Necessários para o Processo Produtivo

Os equipamentos essenciais, que consomem energia elétrica dentro do processo produtivo global do CCP, estão descritos a seguir. Equipamentos diversos podem ser incluídos, desde que consideradas as limitações do sistema de geração de eletricidade.

Máquina de Produção de Gelo em Escamas

A máquina de produção de gelo em escamas tem a finalidade de produzir o gelo necessário para os processos de conservação de alimentos (pescado e outros), principalmente no transporte e na exposição para a venda do produto.

A água utilizada é bombeada do poço de captação para o reservatório e, após devidamente filtrada e tratada, desce por gravidade até a máquina de produção de gelo em escamas. O gelo produzido é concentrado em um depósito específico, localizado na própria máquina, ou pode ser acumulado em um reservatório.

Considerando a faixa de produção diária de gelo, estabelecida entre 100 e 150 kg/dia, verificamos no mercado brasileiro máquinas que produzem gelo utilizando o ciclo de compressão de vapor, através de compressores de corrente alternada em 220V - 60 Hz, como ilustra a Tabela 2-1.

Máquinas utilizando o ciclo de absorção, com uma fonte quente (que poderia ser fornecida por um aquecedor solar), não foram localizadas no mercado nacional. No caso de máquinas com compressores, um fator limitante e que deve ser levado em conta, é a corrente de partida dos motores desses compressores, devendo ser prevista no dimensionamento do sistema de geração de energia para que possa suportar a potência de curta duração. A corrente de partida pode chegar de 7 a 8 vezes a corrente nominal de operação dos motores. Independente do modelo de máquina especificada, ela deve possuir boa qualidade e assistência técnica garantida no mercado nacional.

A Tabela 2-1 mostra máquinas com nível máximo de produção de gelo entre 105 e 600 kg/dia, em temperatura ambiente de 30° C. A potência elétrica nominal varia entre 650 e 2.700 W. O consumo de energia é bastante expressivo, visto que a produção de gelo é um processo de uso intensivo de energia.

Para uma produção de 150 kg/dia de gelo, o consumo varia entre 14,35 Wh/dia e 17,35 Wh/dia, com uma média de 15,5 kWh/dia ou 465 kWh/mês. Quando se usa uma máquina de maior capacidade, sua operação se dará por um período menor, o que pode ser conveniente considerando os horários de trabalho dos produtores e a capacidade do depósito de

armazenamento de gelo das máquinas. Entretanto, máquinas maiores demandam correntes elétricas de partida mais intensas, o que exige inversores de maior capacidade para suportar os surtos de corrente de partida dos motores.

Máquina de Produção de Gelo em Escamas							
Marca	Modelo	Produção de Gelo (30°C)	Potência Elétrica		Consumo de Energia (30°C)		
		kg/dia (máximo)	W (nominal)	W (surto)	Wh/dia (máximo)	Wh/dia (100 kg/dia)	Wh/dia (150 kg/dia)
Everest	EGE -300M	304	1.260	8.580	30.240	9.947	14.921
	2xEGE-300M	600	2.520	17.160	60.480	10.080	15.120
Hexport	Pro Super 150	105	685	4.658	16.440	15.613	-
	ITV IQ 400	313	1.260	8.500	30.000	9.570	14.355
	ITV IQ 550	560	2.700	18.360	64.800	11.571	17.357
Brema	GB 1555	150	650	4.420	15.600	10.400	15.600

Tabela 2-1: Máquinas de produção de gelo em escamas disponíveis no mercado nacional.

Para efeito de concepção de um CCP típico, podemos considerar uma máquina de gelo de 220 V, produzindo no mínimo 150 kg de gelo por dia, em um dia de trabalho de 12 horas, 7 dias por semana, sendo que o dia de descanso dos produtores seria uma reserva para a recomposição das baterias e folga para o sistema. Para efeito de dimensionamento da unidade modular, podemos prever uma máquina de gelo com capacidade mínima de 300 kg/dia de gelo, potência nominal de até 2.700 W e consumo diário médio de 17.357 Wh/dia (521 kWh/mês considerando 30 dias de trabalho por mês).

Congelador

O congelador tem a finalidade de congelar e armazenar produtos, conservando-os em bom estado para posterior consumo. Não é objetivo desse estudo a produção de peixe congelado, levando em conta que as normas sanitárias para esse tipo de produto exigem equipamentos especializados e separação entre o processo de congelamento e o de armazenamento. Entretanto, ele pode ser útil como apoio ao produtor no congelamento e armazenamento de produtos durante tempos limitados.

Foi feito o levantamento de alguns congeladores do tipo doméstico, com tampa horizontal, disponíveis e consolidados no mercado brasileiro, com qualidade e assistência técnica garantidas, apresentados na Tabela 2-2.

Uma relação mais completa pode ser obtida no *site* do INMETRO:

<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/congeladores.pdf>.

Congeladores de Tampa Horizontal						
Marca	Modelo	Capacidade Máxima	Potência Elétrica Nominal	Tensão	Consumo Médio de Energia	
		l (litros)	W	V	Wh/dia	Wh/dia/l
Eletrolux	H 160a	140	150	220	930	6,6
	H 220	210	205	220	1.210	5,8
Metalfrio	DA 170	166	150	220	1.033	6,2
	DA 302	293	315	220	1.523	5,2
Consul	CHA 31C	305	113	220	1.386	4,5
Gelopar	GHDE 310	285	206	220	1.900	6,7
Elbe	HFR 260	260	100	12	1.600	6,2

Tabela 2-2: Congeladores de tampa horizontal disponíveis no mercado nacional.

Os congeladores apresentados na Tabela 2-2 utilizam o ciclo de compressão de vapor através de compressores de corrente alternada em 220 V / 60 Hz ou 12 V em corrente contínua. O congelador com tampa horizontal é mais eficiente que o de porta vertical, pois há menos troca de calor na abertura, reduzindo o consumo de energia.

Os congeladores de corrente contínua são bem mais caros, mas dispensam o uso do inversor, necessário para o acionamento dos motores de corrente alternada. Essa é uma característica importante, pois a corrente elétrica de partida dos motores de corrente alternada é muito mais elevada que a corrente de funcionamento normal, o que leva à necessidade de um superdimensionamento da potência do inversor para que suporte a potência de curta duração. Além disso, os inversores introduzem uma perda de energia elétrica considerável no sistema. Os congeladores de corrente contínua foram desenvolvidos especialmente para aplicação solar, com isolamento térmico mais espesso, sendo mais resistentes ao clima úmido, como o da Amazônia. Entretanto, eles apresentam dificuldades para a sua adoção no país, devido ao baixo número de fabricantes e sua baixa escala de produção, comparados aos congeladores em corrente alternada.

Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico foi realizada uma análise comparativa entre modelos de congeladores com capacidade variando entre 140 e 305 litros e potência elétrica nominal variando entre 100 e 315 W, resultando em um consumo de energia elétrica entre 930 e 1.900 Wh/dia, para uma temperatura ambiente de 30°C. Sendo assim, especificou-se um congelador em corrente alternada com 293 litros, 220 V, potência nominal de 315 W e consumo diário médio de 1.523 Wh/dia, ou 46 kWh/mês.

Bomba de Água para Abastecimento de Reservatório

A bomba de água tem a finalidade de abastecer o reservatório do CCP para que haja água disponível para o consumo humano, lavagem dos peixes, abastecimento da máquina de gelo e higiene geral da instalação do CCP. Na especificação da bomba de água deverá ser levado em conta o tipo de captação, as alturas manométricas, as quantidades de água necessárias ao processo, entre outros aspectos. O mercado disponibiliza bombas submersíveis ou de superfície,

de corrente alternada ou de corrente contínua. A Tabela 2-3 mostra alguns modelos disponíveis no mercado. As motobombas apresentadas podem ser acionadas em 127/220 V em corrente alternada, ou em corrente contínua de 12V, de 24V ou tensões mais elevadas. A escolha do modelo de motobomba e da tensão de trabalho vai depender do tipo de captação, das alturas manométricas, da quantidade diária de água necessária, entre outros.

Motobomba para Água								
Marca	Modelo	Tipo	Tensão	Potência Elétrica	Vazão Máxima	Altura Manométrica Máxima	Consumo Máximo de Energia	
			V	W	l/dia		m	24h/dia
Shurflo	2088	Superfície	12	96	7.776	35	2.304	593
	8000	Superfície	12	46	3.312	42	1.094	661
	9325	Poço Tub	24	98	7.440	70	2.362	635
Anauger	P 100	Poço Tub	<36	170	2.000	32	1.020	1.020
	R 100	Cisterna	<36	170	2.000	32	1.020	1.020
	700	Cisterna	220	450	20.400	50	10.800	1.059
	800	Poço Tub	220	380	13.200	65	9.120	1.382
Ferrari	IDB-35 1/4	Superfície	220	180	4.800	28	4.320	1.800

Tabela 2-3: Motobombas disponíveis no mercado nacional.

As motobombas listadas na Tabela 2-3 possuem capacidade de bombeamento entre 2.000 a 20.400 l/dia, para as alturas manométricas listadas. A potência elétrica nominal varia entre 46 W e 450 W. Para uma vazão de 2.000 litros por dia, compatível com um CCP para processamento de até 100 kg de pescado por dia, prevê-se um consumo de energia elétrica de 593 a 635 Wh/dia para motobombas de corrente contínua, e de 1020 a 1.800 Wh/dia para motobombas em corrente alternada.

Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico podemos considerar uma motobomba de 220 V, bombeando 2.000 l/dia de água, com uma potência nominal de 180 W e consumo diário médio de 1.800 Wh/dia ou 54 kWh/mês.

Iluminação

A iluminação tem a finalidade de possibilitar a realização de trabalhos noturnos e melhorar a visibilidade para o preparo do pescado e de outros produtos, garantindo a qualidade e segurança nos processos produtivos.

Considerando que o espaço físico necessário para o processamento de 100 kg/dia de pescado é relativamente pequeno, assim como os períodos de utilização de iluminação artificial, prevê-se a utilização de poucas lâmpadas de baixa potência e com pequeno consumo de energia, quando comparado com os demais equipamentos elétricos. No projeto específico do CCP, recomendamos selecionar lâmpadas e luminárias de alta eficiência, do tipo fluorescente ou LED.

A Tabela 2-4 apresenta algumas lâmpadas fluorescentes compactas e tubulares, de corrente alternada em 220 V e corrente contínua em 12 V, disponíveis no mercado nacional. As lâmpadas de corrente alternada são facilmente encontradas no comércio, facilitando o processo de reposição, ao contrário das de corrente contínua, encontradas somente em lojas especializadas.

Lâmpadas Fluorescentes com Reator			
Marca	Tipo	Potência Elétrica (W)	Tensão (V)
Philips	Tubular	16	220/127
Osram	Tubular	16	220/127
FLC	Tubular	20	220/127
Osram	Compada	23	220/127

Tabela 2-4: Exemplos de lâmpadas fluorescentes disponíveis no mercado.

Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico, na área de produção, são utilizadas 10 lâmpadas fluorescentes tubulares de 16 W, 220 V, ligadas 6 h/dia, com potência nominal total de 160 W e consumo diário médio de 960 Wh/dia ou 29 kWh/mês.

Tomadas Diversas

Poderão ser disponibilizadas tomadas diversas de 220 V, em corrente alternada, para a conexão de equipamentos que forem posteriormente necessários ao processo produtivo, de acordo com o dimensionamento do CCP. Os equipamentos podem ser ventiladores, balanças eletrônicas, aparelhos de comunicação, seladores de embalagens, entre outros. O uso dessas tomadas deve ser objeto de recomendações específicas, evitando a sobrecarga nas tomadas. Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico, podemos considerar a potência nominal total de 800 W para as tomadas e consumo diário médio de 2.000 Wh/dia ou 60 kWh/mês.

Consumo de Energia Típico dos Equipamentos de Produção

A próxima Tabela resume o consumo de referência dos equipamentos de produção de um CCP para processamento de pescado fresco de até 100 kg de pescado por dia.

Consumo de Energia Típico dos Equipamentos de Produção				
Equipamento	Produção/ Capacidade	Potência Nominal	Consumo de Energia	
		W	Wh/dia	kWh/mês
Máquina de Gelo	560 kg/dia	2.700	17.357	521
Congelador	293 litros	315	1.523	46
Motobomba	4.800 l/dia	180	1.800	54
Iluminação	10 x 16 W x 6 h/dia	160	960	29
Tomadas diversas	800 W x 2,5 h/dia	800	2.000	60
TOTAL	-	4.425	23.640	709

Tabela 2-5: Consumo de referência dos equipamentos dimensionados para o processo produtivo do CCP.

A curva de carga dos equipamentos de produção depende da rotina de trabalho dos produtores. A título de exemplo, podemos considerar o caso em que a pesca é realizada basicamente à noite. A máquina de gelo opera 7 horas por dia, entre as 17 e 21 horas, e entre as 06 e 09 horas. O congelador opera 24 h/dia, enquanto que a motobomba é controlada por uma chave boia e pode funcionar 24 h/dia, dependendo do volume de água no reservatório. A iluminação é utilizada entre 18 e 06 horas e as tomadas podem ser utilizadas durante as 24 horas do dia. Para esse caso de referência, a curva de carga está apresentada na Figura 2-3.

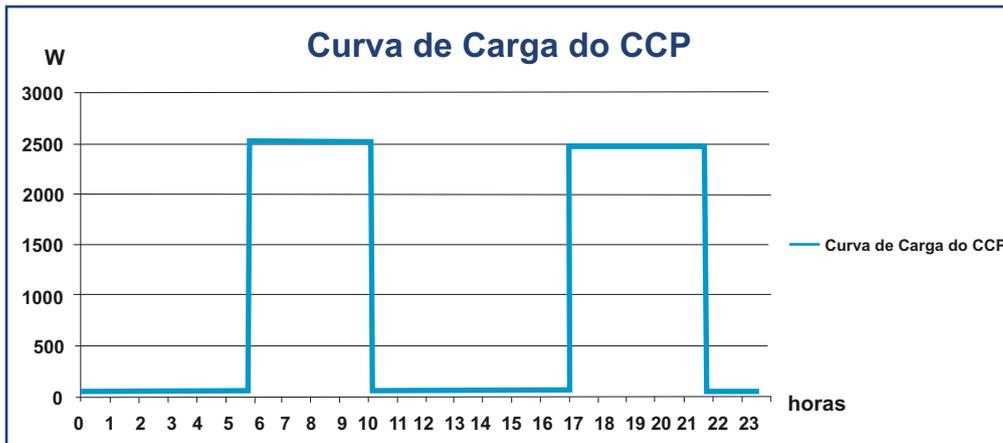


Figura 2-3: Curva de carga de referência do CCP para 100 kg/dia de pescado.

Observando a curva de carga verificamos que o sistema apresenta picos de consumo durante o período em que a máquina de gelo está operando, sendo que a carga se reduz substancialmente para os demais períodos.

Dimensionamento da Unidade Produtiva

Com base nos equipamentos apresentados no Capítulo 1 e no item “Equipamentos Necessários para o Processo Produtivo” foram analisadas diversas alternativas de configuração básica para atender um CCP de beneficiamento de pescado. É boa prática sempre analisar diferentes alternativas nos projetos específicos de um CCP em função das características locais do processo produtivo, dos recursos energéticos disponíveis e das características e preços dos equipamentos disponibilizados no mercado. Pela avaliação do recurso energético, uma produção de até 100 kg/dia de pescado pode ser processada somente com o emprego da fonte solar, considerando o mês mais crítico de radiação solar no dimensionamento do sistema de geração do CCP.

A Figura 2-4 apresenta o diagrama básico concebido para uma unidade modular de um CCP para beneficiamento de pescado. O diagrama deverá ser adaptado e detalhado em função das condições operativas e das características dos equipamentos selecionados.

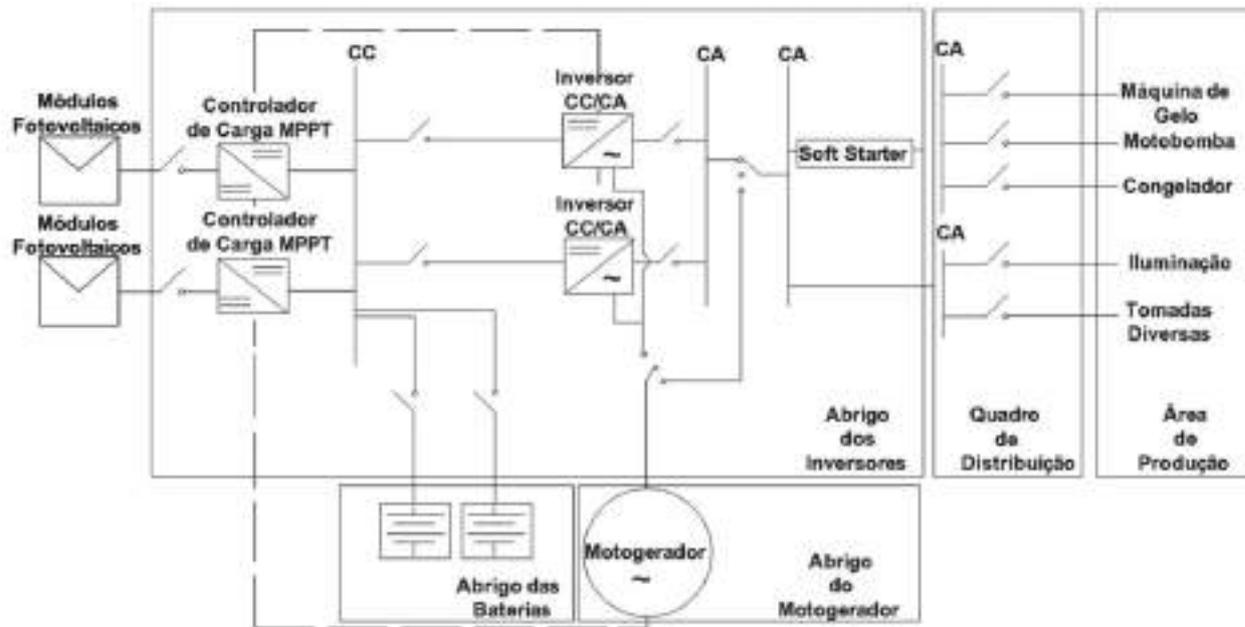


Figura 2-4: Diagrama básico de unidade modular para CCP para beneficiamento de pescado.

A configuração básica para a área de produção prevê uma máquina para fabricação de gelo, um congelador para conservação de alimentos, uma motobomba para bombeamento de água, lâmpadas para iluminação do ambiente, além de tomadas para eventuais equipamentos elétricos necessários para o processo produtivo ou para utilização casual pelos funcionários do CCP.

Para a geração da eletricidade necessária ao acionamento desses equipamentos produtivos, foram previstos módulos fotovoltaicos para geração de eletricidade, baterias para

armazenamento da energia gerada, controladores de carga MPPT, inversores de corrente contínua para corrente alternada, um motogerador a diesel para suprimento complementar de eletricidade e um *soft starter* para reduzir a corrente de partida dos motores elétricos. Os módulos, controladores, baterias e inversores foram divididos em dois conjuntos, para propiciar maior confiabilidade e segurança operacional. Como o projeto contempla a utilização de dois inversores, apenas um deles deve ser capaz de suportar toda a carga, permanecendo o outro desligado como reserva para eventuais necessidades de manutenção.

Caso haja necessidade de ampliação da capacidade de produção do CCP poderão ser incluídos novos conjuntos de módulos fotovoltaicos, controlador de carga e banco de baterias no barramento de corrente contínua, reavaliando os demais equipamentos. Uma alternativa para a expansão é inserir novos sistemas de geração fotovoltaica com inversores para conexão à rede no barramento de corrente alternada. O projetista deverá avaliar a alternativa mais conveniente para a expansão, em conformidade com as circunstâncias do projeto.

Dimensionamento dos Equipamentos da Unidade Modular

Características e Quantidade de Energia Demandada pelo CCP

A Tabela 2-5 mostra que o consumo de energia típico de um CCP é de 709 kWh/mês, considerando as premissas e os equipamentos definidos anteriormente. A disponibilidade de energia elétrica pelo sistema de geração solar é dependente do nível de insolação, podendo ser bem superior ao apresentado neste dimensionamento nos meses de maior insolação.

Foram definidas as seguintes premissas como referências para o dimensionamento da unidade modular do sistema de geração de energia elétrica para CCP destinado ao beneficiamento do pescado:

Consumo de referência: 24 kWh/dia ou 720 kWh/mês;

Autonomia mínima para o banco de baterias: 2 dias.

Dimensionamento do Banco de Baterias

Tensão de Trabalho de Referência: 48 V - A tensão de trabalho nominal mais utilizada em sistemas fotovoltaicos autônomos de pequeno porte é 12 V, mas em sistemas maiores é recomendável tensões de 24 V ou 48 V para reduzir as perdas ôhmicas e as quedas de tensão. A tensão nominal deve ser adequada a disponibilidade de equipamentos no mercado.

Tipo de Bateria de Referência: OPzS - Considerando a conveniência de trabalhar com bancos de baterias de maior vida útil, em vista das dificuldades de manutenção e dos custos da troca, recomendamos o uso de baterias do tipo OPzS que, apesar de ter um custo bem mais elevado, apresentam maior vida útil, característica muito importante nas regiões remotas da floresta amazônica. Entretanto, o projetista deve analisar no projeto específico a conveniência de usar as baterias de chumbo-ácido estacionárias seladas de menor custo, mas com menor vida útil. O essencial é buscar uma padronização do tipo de bateria a ser utilizada nos diferentes projetos localizados em uma mesma região, de modo que os trabalhos de manutenção e troca das baterias sejam otimizados.

A capacidade mínima do banco de baterias pode ser calculada pela seguinte expressão⁷:

$$Capacidade (Wh) = \frac{Consumo_{CA} (Wh/dia) \cdot Autonomia (dias)}{\eta_{CC/CA} \cdot DOD_{Max} \cdot Capacidade_{EOL}}$$

Sendo:

Capacidade - Capacidade energética nominal do banco de baterias para um regime de descarga de 100h em Wh;

Consumo_{CA} - Referência de consumo diário de energia elétrica em corrente alternada do CCP. Nesse estudo foi considerado igual a 24 kWh/dia;

Autonomia - Autonomia do banco de baterias em períodos sem insolação: 2 dias de acordo com as exigências mínimas da ANEEL;

$\eta_{CC/CA}$ - Eficiência total entre o consumo em CC - corrente contínua no banco de baterias e o consumo em CA - corrente alternada, considerando perdas na descarga da bateria, na conversão CC/CA (inversor), *soft starter* e perdas ôhmicas. Nesse estudo foi considerado igual a 0,75, ou 25% de perdas;

DOD_{Max} - Profundidade de descarga máxima para proteger o banco de baterias de descarga profunda. Nesse estudo foi considerado igual a 0,60, ou 60% da capacidade energética do banco de baterias;

Capacidade_{EOL} - Capacidade média da bateria durante a vida útil, respeitando que no fim da vida útil (End-of-Life) a capacidade da bateria é 80% da capacidade nominal. Nesse estudo foi considerado igual a 0,9, ou 90% de sua capacidade média.

Capacidade mínima calculada para o banco de baterias: 118,5 kWh

Observando a conveniência de se padronizar os projetos dos sistemas de geração de eletricidade, podemos considerar:

Capacidade de referência do banco de baterias: 120 kWh (C100)

Como referência para os cálculos de dimensionamento e simulação de desempenho, podemos utilizar um banco de baterias composto por 3 séries de baterias OPzS, cada uma delas composta por 24 baterias de 2 V - 810 Ah (C10) conectadas em série, totalizando 72 baterias, 2430 Ah/48 V (C10) ou 116,6 kWh (C10). Considerando que o regime de descarga é superior a 10 horas, uma vez que a máquina de gelo, para a maior carga, opera durante aproximadamente 14 horas, podemos julgar que esse banco de baterias atende a capacidade de referência de 120 kWh (C100) estabelecida.

Tendo como referência a Tabela 1-2 do Capítulo 1, dois modelos de bateria atendem ao dimensionamento do banco de bateria, com potência mínima de 810Ah.

⁷ Ministério de Minas e Energia (MME), "Especificações Técnicas dos Programas para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados no âmbito do Programa Luz para Todos", Outubro/2015.

Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico

Para o dimensionamento do gerador fotovoltaico é válida a seguinte expressão:

$$\text{Potência mínima do gerador (Wp)} = \frac{\text{Consumo diário (Wh/dia)}}{\text{Radiação solar no plano de instalação (Wh/m}^2\text{/dia)} \times \text{PR}}$$

Sendo:

Potência mínima do gerador (Wp): Potência mínima total do conjunto de módulos fotovoltaicos necessária para produzir a energia solicitada pela carga no mês mais crítico.

Consumo diário de energia do CCP: 24 kWh/dia

Radiação solar no plano de instalação dos módulos fotovoltaicos no mês mais crítico:

Considerada como 4.000 Wh/m²/dia (4 kWh/m²/dia). Supondo a existência do motogerador, que poderá operar nos períodos excepcionais de baixa insolação, foi utilizado a média mensal de radiação solar no plano inclinado, no mês mais crítico, conforme mostrado na Tabela do Anexo I. Pela Tabela, a radiação solar varia entre 3,9 kWh/m²/dia em São Gabriel da Cachoeira, no mês de junho, e 4,3 kWh/m²/dia em Manaus, no mês de janeiro. A seleção do mês mais crítico implica que em todos os demais meses haverá maior disponibilidade de energia e, portanto, maiores quantidades de gelo poderão ser produzidas.

Performance Ratio (PR): 0,48. O PR foi calculado conforme a expressão abaixo. O PR é um fator que leva em conta a redução da geração do módulo devido à tolerância na fabricação, temperatura de trabalho, poeira sobre o vidro, degradação com o tempo, presença de sombras em parte do dia, desvios na orientação e na inclinação, e também devido às perdas elétricas nas baterias, nos controladores, nos inversores, na fiação, entre outros. Esse é um valor típico e depende dos equipamentos usados e da configuração da instalação⁸:

$$\text{PR} = \eta_{\text{FV}} \cdot \eta_{\text{con}} \cdot \eta_{\text{CC/CC}} \cdot \eta_{\text{IFR}} \cdot \eta_{\text{Tr}} \quad \text{sendo } \eta_{\text{CC/CC}} = \eta_{\text{Bat}} (1 - F_{\text{CD}}) + F_{\text{CD}}$$

Sendo:

η_{FV} - Eficiência do gerador fotovoltaico na situação de potência nominal. Inclui vários fatores de difícil estimativa e de alta variabilidade no tempo, como: tolerância sobre a potência nominal, elevação de temperatura, redução da eficiência em baixas condições de radiação, eventual sombreamento, sedimentação de pó ou pequenas folhas nos painéis e envelhecimento dos painéis. Considerada uma eficiência de 0,70 (70%).

η_{con} - Eficiência média do controlador de carga. Considerada uma eficiência de 0,95 (95%).

$\eta_{\text{CC/CC}}$ - Eficiência total do armazenamento no banco de baterias. Considerada uma eficiência de 0,90 (90%).

η_{IFR} - Eficiência média do inversor. Considerada uma eficiência de 0,90 (90%). Considera que um dos inversores opera durante todo o dia, alimentando uma pequena carga quando a máquina de gelo estiver desligada.

⁸ Ministério de Minas e Energia (MME), "Especificações Técnicas dos Programas para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados no âmbito do Programa Luz para Todos", Outubro/2015.

η_{Tr} - Eficiência nos circuitos CC e CA e no *soft starter*. Considerada uma eficiência de 0,90 (90%).

η_{Bat} - Eficiência média de carga e descarga do banco de baterias. Considerada uma eficiência de 0,86 (86%).

F_{CD} - Fator de consumo direto. Este fator está associado a parte da geração fotovoltaica que é consumida diretamente pelas cargas, sem necessidade de armazenamento pelo banco de baterias, sendo dependente do horário de trabalho dos produtores do CCP. Considerado um FCD igual a 0,25, ou seja, 25% da geração fotovoltaica é consumida diretamente pelas cargas do CCP.

Capacidade mínima calculada do gerador fotovoltaico: 12.377 Wp

Observando a conveniência de se padronizar os projetos dos sistemas de geração fotovoltaica, podemos considerar:

Capacidade nominal de referência do gerador fotovoltaico: 12.500 Wp

Como referência para os cálculos de dimensionamento e simulação de desempenho, podemos utilizar um arranjo de 12.690 Wp, composto por 54 módulos policristalinos de 235 Wp cada, divididos em 3 arranjos de 18 módulos, cada um deles composto por 6 módulos em série e 3 fileiras em paralelo.

Tendo como referência a Tabela 1-1 do Capítulo 1, apenas um modelo de painel fotovoltaico apresenta o valor de 235 Wp, sendo utilizado acima como referência para o dimensionamento do gerador fotovoltaico.

Dimensionamento do Controlador de Carga

Tensão de trabalho das baterias: 48 V

Capacidade: Depende dos módulos especificados e da configuração utilizada na instalação desses módulos fotovoltaicos. O dimensionamento do controlador de carga se baseia principalmente na definição da tensão de trabalho e dos valores máximos de tensão e corrente que o equipamento suporta. A tensão e a corrente elétrica máximas que os módulos fotovoltaicos podem fornecer em condições de sol pleno podem ser extraídas das informações técnicas fornecidas pelo fabricante. Será considerada, no dimensionamento, a corrente de curto circuito dos módulos acrescida de um fator mínimo de segurança igual a 10%.

Para o dimensionamento e simulação do desempenho do sistema de geração, considera-se a utilização de 3 controladores de carga do tipo MPPT, com tensão de 48 V e corrente máxima de 60 A cada. Cada um desses controladores está dimensionado para trabalhar com um banco de baterias de 48 V. O valor da corrente de curto-circuito suportada pelo controlador de carga é dada pelo seguinte produto: $6 \times 8,19 A = 49,1 A$.

Tendo como referência a Tabela 1-3 do Capítulo 1, todos os modelos de controladores de carga do tipo MPPT, que suportam uma corrente com valor igual ou superior a 49,1 A, estão aptos ao uso no dimensionamento.

Dimensionamento do Inversor

Cada inversor deve ter capacidade para trabalhar isoladamente, alimentando toda a carga e com possibilidade de operar em conjunto ao motogerador a diesel. O inversor deve apresentar as seguintes características:

Tensão de entrada adequada à tensão do banco de baterias: 48 V;

Tensão e frequência de saída adequada à tensão e frequência das cargas: 220 V, 60 Hz;

Forma de onda: senoidal pura;

Potência mínima de operação contínua: 4.425 W (40°C). Avaliar em função da máquina de gelo especificada;

Potência mínima de curta duração (3 s): Avaliar de acordo com a máquina de gelo especificada. Referência: 12.000 VA.

Considerando a demanda de energia de referência dos equipamentos do processo produtivo, descrita na Tabela 2-5, concluímos que os inversores apresentados na Tabela 1-4 do Capítulo 1, com potência nominal superior a 5.000 W, potência contínua mínima de 5.000 W e potência mínima de curta duração de 12.000 VA, podem ser empregados no sistema de geração dimensionado.

Como exemplo para o dimensionamento e simulação do desempenho podemos utilizar 2 inversores com 48/220V e 5.000 W de potência nominal mínima. Cada um desses inversores está dimensionado para trabalhar isoladamente e suprir, com segurança, a corrente nominal e de partida das cargas. No caso de máquinas de gelo com potência nominal elevada, acima de 1.765 W, cujos motores partam simultaneamente, é essencial a instalação do *soft starter* junto ao inversor.

Dimensionamento do Soft Starter

Tensão de operação: 220 V

Potência do motor elétrico: 3,0 kW

Considerando a demanda de energia de referência dos equipamentos do processo produtivo descritos na Tabela 2-5, os modelos de referência de *soft starters* apresentados na Tabela 1-6 do Capítulo 1, com tensão de 220 V, 60HZ, corrente nominal de 25 A e potência dos motores monofásicos de até 3,0 kW, atendem aos requisitos de projeto.

Dimensionamento do Motogerador

O motogerador deve ser adequado à tensão de trabalho de 220 V, ter capacidade para alimentação das cargas, tanto em funcionamento contínuo quanto na partida dos motores, garantindo uma potência mínima em funcionamento contínuo igual a 5 kVA e de curta duração igual a 12 kVA, considerando o padrão de cargas descrito na Tabela 2-5.

Como exemplo para o dimensionamento e simulação do desempenho do sistema de geração de eletricidade, apenas um modelo de motogerador monofásico apresentado na Tabela 1-5 do Capítulo 1, com 220 V/ 60 Hz, capacidade nominal de 12 kVA e de curta duração de 12,5 kVA, se mostra adequado para instalação no CCP.

Configuração Básica da Unidade Produtiva

A Figura 2-5 mostra a configuração final do circuito elétrico do sistema de geração de eletricidade dimensionado para o atendimento das cargas do CCP, considerando uma capacidade de processamento de 100 kg de pescado por dia.

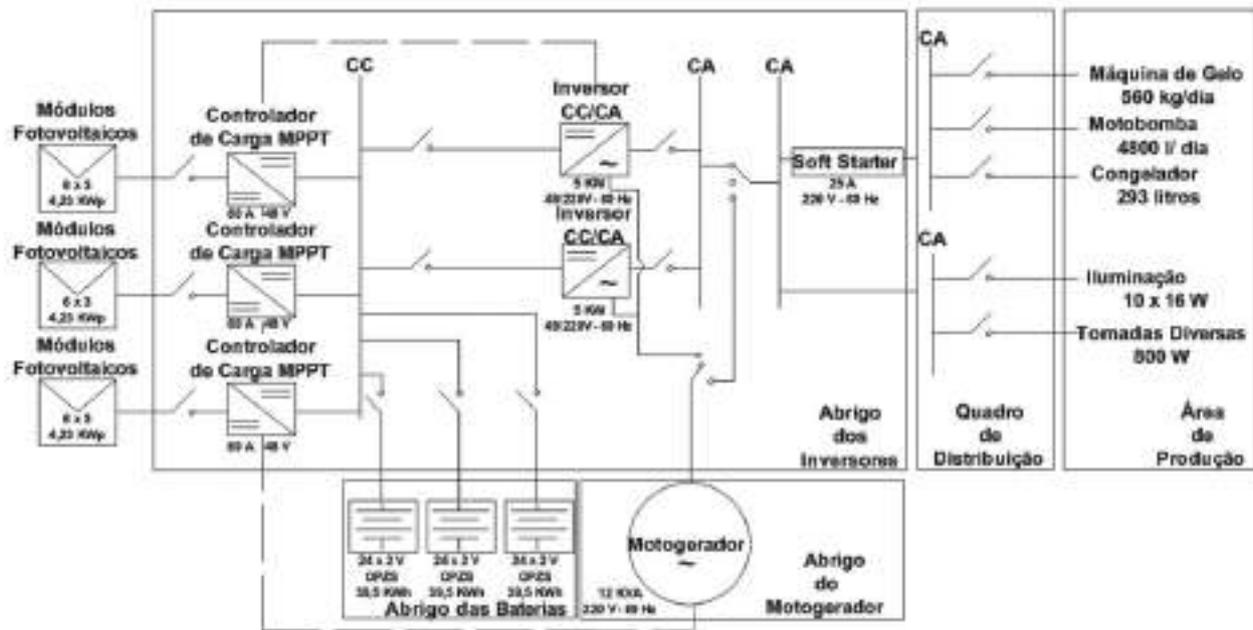


Figura 2-5: Diagrama do circuito elétrico da unidade modular de um CCP para beneficiamento de pescado.

Simulação de Desempenho do Sistema de Geração Dimensionado

A partir do sistema dimensionado, e com o uso do software específico para simulação de geração solar, foram realizadas simulações de desempenho do sistema de geração no atendimento aos equipamentos de produção descritos na Tabela 2-5, considerando uma instalação na região de Manaus e um consumo de referência de 720 kWh/mês (24.000 Wh/dia). As simulações realizadas mostram que, nessa região, o sistema de geração pode disponibilizar uma quantidade bem maior de energia durante todo o ano em relação ao mínimo proposto, visto que ele foi dimensionado visto que ele foi dimensionado levando em conta um local com nível médio de radiação solar no mês mais crítico de 4 kWh/m²/dia. Observamos nas simulações que, durante todo o ano, há um excesso de energia disponibilizada, que poderá ser usada, por exemplo, para produzir mais gelo, contribuindo para maior flexibilidade operacional.

A Tabela 2-6 mostra o desempenho do sistema dimensionado, considerando diferentes consumos de energia: 720 kWh/mês, 860 kWh/mês, 1.020 kWh/mês e 1.200 kWh/mês. No caso específico do exemplo com CCP localizado na região de Manaus, observamos que não houve necessidade de acionar o motogerador em nenhum período do ano, para uma situação de consumo médio de até 860 kWh/mês. Mesmo com um consumo diário de 1.020 kWh/mês, houve pouca necessidade de acionar o motogerador, uma vez que 99,6% da carga foi atendida pela fonte solar. Quando o consumo alcança 1.200 kWh/mês, o motogerador tem de suprir 6,8% da carga com um significativo consumo de óleo diesel.

Desempenho do Sistema de Geração Dimensionado					
Consumo de Eletricidade	Energia Solar			Fonte Energética	
	Disponibilizada	Utilizada	Não Utilizada	Solar	Diesel
kWh/mês	kWh/mês	kWh/mês	kWh/mês	%	%
720	1.369	720	582	100	0
860	1.349	860	427	100	0
1.020	1.305	1.016	238	99,6	0,4
1.200	1.245	1.120	87	93,2	6,8

Tabela 2-6: Simulação do desempenho do sistema de geração dimensionado.

Configuração Final da Unidade Produtiva

A Tabela 2-7, na página seguinte, apresenta a configuração final dos equipamentos para um CCP com produção de até 100 kg/dia de pescado e também a estimativa de percentual de custo dos equipamentos e do serviço de instalação do sistema em relação ao valor total do projeto.

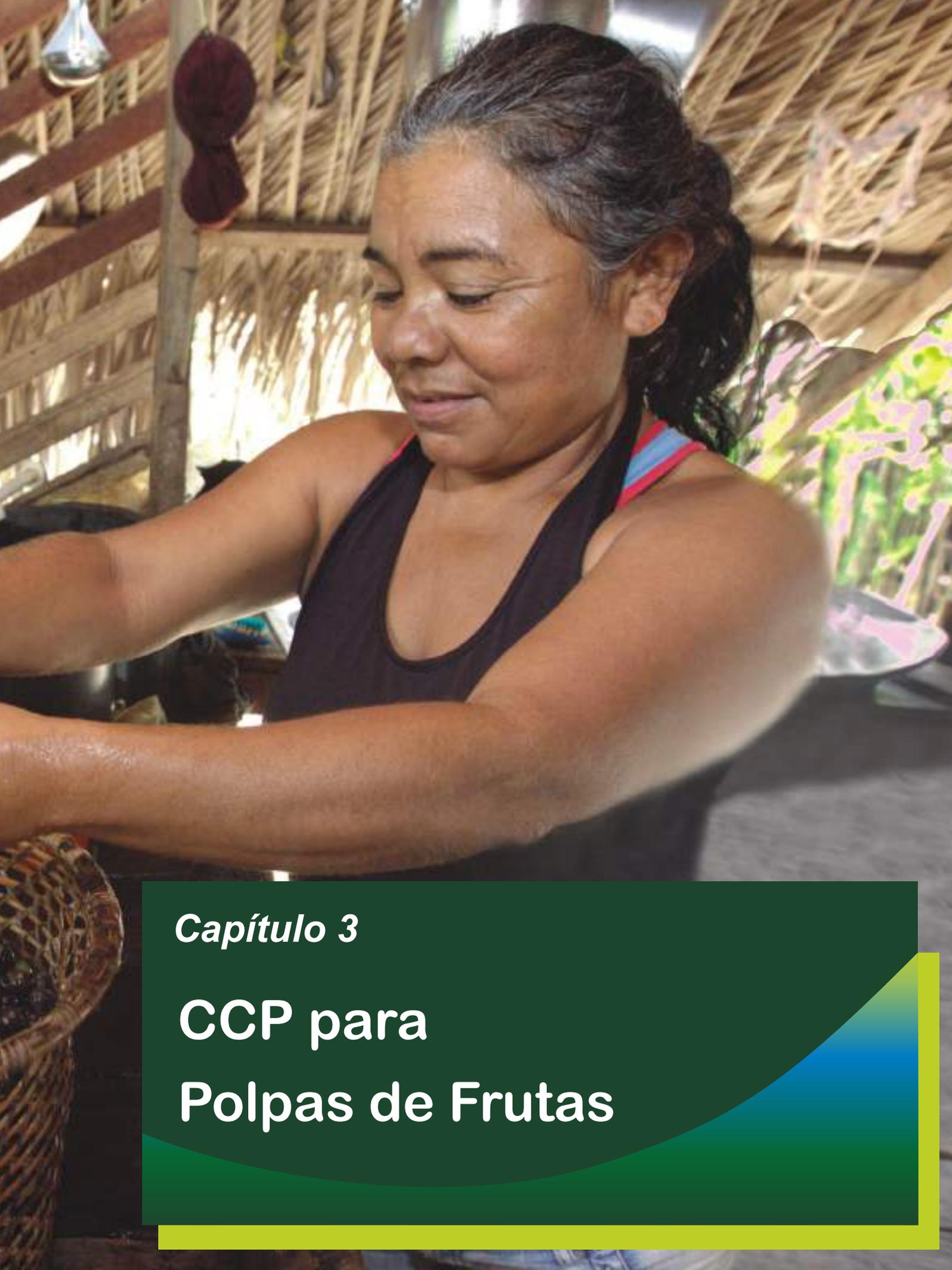
Observamos que o percentual de custo estimado mais significativo é o das baterias, o que reforça a recomendação de realizar oportunamente um estudo específico, comparando os custos de utilização das baterias OPzS e as convencionais de placas de chumbo-ácido. Os serviços também aparecem com percentual significativo, variando muito em função das distâncias, da escala de contratação e de outros fatores inerentes ao projeto específico.

Estimativa de Custo de Aquisição e Instalação de um CCP para 100 kg/dia de Pescado		
Equipamentos de Produção	Capacidade	Custo Estimado
		%
Máquina de Gelo em Escamas	560 kg/dia	5,7
Congelador de Tampa Horizontal	293 litros	0,3
Bomba de Água	4.800 l/dia	0,0
Lâmpadas com Reator	10 x 16 W	0,1
Equipamentos e Utensílios de Produção		1,1
Total		7,2
Equipamentos de Geração de Energia Elétrica	Capacidade	Custo Estimado
		%
Módulo Fotovoltaico	12.690 Wp	10,8
Baterias	118,5 kWh	31,2
Motogerador	12 kVA	2,7
Controladores de Carga	3 x 60 Ah/48 V	2,1
Inversores	2 x 5.000 W	7,0
<i>Soft Starter</i>	3,0 kW/220 V	0,2
Equipamentos de Proteção - Controle - Monitoramento		1,1
Materiais de Instalação		2,6
Total		57,7
Serviços	Capacidade	Custo Estimado
		%
Projeto, Engenharia e Administração		6,5
Obras Civas		13,2
Instalação e Comissionamento		15,4
Total		35,1
TOTAL GERAL		100,0

Tabela 2-7: Percentual de custos estimados para instalação de um CCP para processamento de 100 kg de pescado por dia.



Seleção dos frutos de açaí
Crédito: Bruno Espada



Capítulo 3

CCP para Polpas de Frutas



Centro Comunitário de Produção e Conservação de Polpas de Frutas

Apresentamos neste Capítulo os estudos desenvolvidos para a concepção de uma unidade modular básica de um Centro Comunitário de Produção (CCP) para o beneficiamento e armazenamento a frio de polpas de frutas, com o emprego de fontes renováveis para geração de energia elétrica.

A unidade em questão visa atender a demanda de uma pequena comunidade rural, situada em local remoto e distante da rede de energia elétrica, que depende, principalmente, da coleta de produtos extraídos da floresta e que necessita de meios para beneficiar esses produtos e conservá-los por meio da refrigeração.

Com a variedade de frutas que podem ser beneficiadas e conservadas através da refrigeração, bem como a flexibilidade desejável para atendimento de pequenas comunidades, o estudo tem foco no beneficiamento de frutas típicas da região amazônica, dado seu potencial econômico para as pequenas comunidades dessa região. Esse foco não invalida o uso de outras máquinas e equipamentos especificados para finalidades semelhantes, desde que não ultrapassem as limitações energéticas da unidade modular.

O estudo também tem foco nas alternativas de suprimento de eletricidade mais adequadas para a instalação em pequenas comunidades remotas, como a energia solar fotovoltaica, considerando aspectos econômicos, sociais, ambientais, o custo do investimento inicial e de manutenção, facilidade de instalação, operação e manutenção, disponibilidade energética, impacto ambiental, vida útil dos equipamentos e aceitação pela comunidade.

A possibilidade de residências próximas ao CCP se beneficiarem da disponibilidade de energia, em algum momento, também foi analisada tecnicamente, mesmo não sendo o escopo do presente estudo.

Como resultado, no decorrer deste Capítulo apresentamos o dimensionamento do CCP em questão, destacando os equipamentos do processo produtivo e do sistema de geração de energia elétrica.

Análise e Definição do Processo Produtivo

A Embrapa preparou algumas Recomendações Técnicas para a Implantação de uma Unidade Agroindustrial de Processamento de Polpas Congeladas de Frutas⁹. São recomendações importantes para a implantação de unidades agroindustriais para o processamento de polpas de frutas congeladas, mas que levam em consideração a disponibilidade de energia elétrica através da concessionária de distribuição, permitindo maior escala de produção. O material da Embrapa mostra de forma detalhada o processamento de polpas congeladas de frutas, ressaltando recomendações técnicas necessárias para a realização do trabalho em pequenas comunidades rurais isoladas, com pouco acesso a informação e assistência técnica. A análise dos processos apresentados e do consumo de energia dos equipamentos utilizados também mostra os desafios para o processamento das frutas em pequenas comunidades, que não dispõem de rede elétrica convencional. Assim, o projetista do CCP com o emprego de fontes renováveis de energia deve levar em conta as recomendações da Embrapa na elaboração do projeto específico para a comunidade beneficiada.

O Processamento de Polpas de Frutas Congeladas

A polpa de fruta congelada é comercializada em todo o mercado brasileiro, sendo matéria-prima básica para produção de sucos, néctares, sorvetes, bolos, biscoitos, iogurtes e outros alimentos. O processo de congelamento permite agregar valor ao produto in natura, possibilitando aumento de renda para os produtores. Pelo processo de congelamento são preservadas as características da fruta fresca, conservando o produto por maior tempo e permitindo a estocagem e o transporte por distâncias maiores. O processo de congelamento inibe o desenvolvimento de micro-organismos e da atividade enzimática da fruta, reduzindo a necessidade de conservantes químicos. Entretanto, outros processos como pasteurização e conservação em refrigerador também podem ser usados, dependendo das características do mercado atendido pelo CCP.

Considerando a variedade de frutas que podem ser beneficiadas e conservadas por meio da refrigeração e a flexibilidade desejável para atendimento de pequenas comunidades, o estudo tem como foco o beneficiamento de frutas cultivadas ou extraídas na região amazônica, dado seu potencial econômico para as pequenas comunidades dessa região. Esse foco não invalida a possibilidade de processamento de qualquer tipo de fruta e produtos semelhantes, desde que não ultrapasse as limitações energéticas da unidade modular. Poderiam ser processadas no CCP frutas como: açaí, cupuaçu, dentre outras, de acordo com as potencialidades locais.

A implantação de uma unidade agroindustrial de processamento de frutas, apresentado no estudo realizado pela Embrapa, pressupõe uma escala de produção de até 500 kg/dia de polpas de frutas congeladas, o que é relativamente elevado para pequenas comunidades remotas e para a

⁹ Embrapa - Recomendações Técnicas para a Implantação de Unidade Agroindustrial de Processamento de Polpas Congeladas de Frutas - PCT BRA/IICA/09/001 - Relatório Parcial Produto 4 - André Luis Bonnet Alvarenga e outros.

disponibilidade energética de sistemas de energia baseados em fontes alternativas. Devemos considerar que cada CCP, como unidade coletiva de processamento de produtos, reflete o perfil dessas pequenas comunidades, isoladas e remotas. Nessas comunidades, o projeto envolve poucas famílias beneficiárias, em geral com menos de 20 famílias por comunidade, com poucos recursos, caracterizando um potencial de produção diário modesto se comparado ao potencial produtivo de unidades CCPs atendidas com energia convencional, como tratado no estudo da Embrapa. A definição da escala de produção também deve levar em conta as condições gerais e exigências legais que são aplicadas aos projetos.

Analisando as limitações descritas é prevista uma produção média de polpas de frutas congeladas de até 500 kg/dia. Considerando que, no caso da produção de polpa de açaí, um bom escalador é capaz de colher de 150 a 200 kg de frutos numa jornada de trabalho de 6 horas¹⁰, e que o rendimento da polpa é em torno de 30% do peso dos frutos¹¹. Podemos considerar um nível de produção de polpa de aproximadamente 50 kg/dia/produtor, considerando até 10 pequenos produtores trabalhando nesse CCP. O CCP deve ter flexibilidade suficiente e estar preparado para as naturais e sazonais variações no nível de produção, prevendo equipamentos que possibilitem essas variações.

Considerando o nível de capacidade socioeconômica dessas comunidades, está previsto além da escala produtiva reduzida, uma menor complexidade do processo produtivo.

Conforme descrito no estudo da Embrapa, trabalhar com alimentos perecíveis, como as polpas de frutas, exige cuidados especializados, com exigências sanitárias rigorosas, implicando que os processos devem garantir a qualidade higiênico-sanitária e atender aos padrões estipulados pela legislação vigente. Anormalidades detectadas podem acarretar a rejeição das polpas de frutas produzidas. Portanto, no projeto específico de um CCP para produção de polpas de frutas congeladas, todos esses aspectos devem ser levados em conta para definição dos processos utilizados.

O fluxograma do processo de beneficiamento da polpa de fruta e armazenamento a frio está apresentado na Figura 3-1. Esse fluxograma é geral e pode apresentar variações de acordo com as frutas que são processadas. A descrição detalhada de cada uma das etapas desse processo pode ser consultada no estudo da Embrapa¹⁰.



Figura 3-1 Fluxograma do processo de beneficiamento de polpas de frutas e armazenamento a frio.

¹⁰ Embrapa - Sistema de Produção do Açaí - http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Acai/SistemaProducaoAcai_2ed/paginas/colheita.htm.

¹¹ Gil Cruz, Ana Paula - Avaliação do efeito da extração e da microfiltração do açaí sobre sua composição e atividade antioxidante - <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37387/1/TS-0752.pdf>.

Do ponto de vista energético, devemos ressaltar nas etapas descritas os seguintes aspectos:

Recepção e estocagem da matéria-prima

Nessa etapa é necessário um ambiente específico, iluminado, bem ventilado, protegido de insetos e roedores. Uma balança deve ser prevista.

Lavagem e seleção das frutas

Essa etapa exige uma boa iluminação para inspeção das frutas e muita água. A lavagem poderá ser feita por imersão em tanques de aço inoxidável. Está prevista também uma mesa de aspersão ou outro tanque para imersão, com o objetivo de desinfecção externa das frutas. Após essa etapa, as frutas podem ir para a área de processamento.

Descascamento

Nessa etapa é realizado o descascamento e, em alguns casos, a extração de sementes, de acordo com o tipo de fruta processada. Pode ser feito manualmente, com uso de facas de aço inoxidável e outros utensílios. As mesas devem ser de aço inoxidável e mantidas nas melhores condições de higiene. É importante que o ambiente seja bem iluminado.

Despolpamento

Etapa em que é separada a polpa da fruta, o material fibroso, as sementes e os restos de cascas. Em alguns casos há necessidade de uma trituração prévia. O equipamento básico utilizado é a despoldadeira, feita em aço inox e com peneiras de diferentes tamanhos de furos. A fruta, descascada ou não, é desintegrada, os resíduos separados e a polpa recolhida em baldes limpos de aço inox.

Acondicionamento

A polpa extraída deve ser colocada em uma dosadora manual ou semiautomática, regulada para encher sacos de polietileno, rotulados. Para a preparação das embalagens são necessários equipamentos como dosadora, seladora e outros.

Congelamento

Essa etapa deve ser realizada no menor espaço de tempo possível, para melhor retenção das características originais da fruta, preservando a qualidade do produto final. Para o congelamento poderão ser usados congeladores do tipo horizontal ou mesmo uma minicâmara fria de baixo volume e consumo.

Armazenamento

Para manter o produto congelado até o momento de seu consumo, este deverá ser armazenado em congeladores do tipo horizontal ou em uma minicâmara fria de baixo consumo, com temperaturas variando entre -18°C e -22°C . É importante que a temperatura indicada seja mantida até o consumo final, o que gera um desafio no transporte da polpa entre o CCP e o cliente. No projeto do CCP deverão ser previstas formas de transporte dessa polpa, considerando os veículos utilizados e a duração das viagens.

Para efeito de concepção e dimensionamento do sistema de geração de eletricidade, levando em conta a diversidade de frutas possível, foi considerada a distribuição uniforme da produção durante todo o ano. Entretanto, o sistema de energia tem flexibilidade para se adaptar às flutuações naturais no nível de produção, considerando a possibilidade de armazenamento de energia nas baterias e a presença de um motogerador de retaguarda. Os trabalhos dentro do CCP serão realizados durante o dia, procurando sincronismo com o nível de insolação, de modo a aumentar a eficiência do processo produtivo. Um dia típico de trabalho seria a produção de polpa entre as 10h e 16h, com maior produção no turno da tarde, priorizando a manhã para os trabalhos de coleta das frutas no campo. Os equipamentos devem permitir flexibilidade aos produtores, para ajuste de sua rotina de trabalho, em regime de 5 dias por semana para o processamento das frutas.

Equipamentos Necessários para o Processo Produtivo

Os principais equipamentos dentro do processo produtivo global e que consomem energia elétrica estão descritos a seguir. Equipamentos diversos podem ser incorporados ao processo, desde que respeitadas as limitações do sistema de geração de eletricidade.

Despoldadeira

A despoldadeira separa a polpa da fruta, o material fibroso, as sementes e os restos da casca da fruta. O processo pode ser mecânico ou manual. A despoldadeira deve ser capaz de atender uma faixa de produção diária de polpa de até 500 kg/dia.

No mercado nacional existem despoldadeiras utilizando motores monofásicos de corrente alternada (60 Hz) em 127 V ou 220 V. Um fator limitante e que deve ser levado em conta é a corrente de partida dos motores dessas máquinas, que é muito mais elevada que a corrente de funcionamento normal, devendo ser prevista no dimensionamento do sistema de geração de energia, de modo que o sistema possa suportar essa potência de curta duração. A corrente de partida pode alcançar até 8 vezes a corrente nominal e deve ser considerada no dimensionamento do inversor e do *soft starter*.

Existe no mercado brasileiro um grande número de máquinas com capacidade de produção entre 60 e 250 kg/hora e potência dos motores variando entre 1/3 CV e 1 CV, conforme apresentado na Tabela 3-1. O consumo de energia para uma produção de 500 kg/dia de polpa pode variar entre 1.179 Wh/dia e 4.718 Wh/dia. Quando utilizada uma máquina de maior capacidade, ela pode ser colocada em operação por um período menor, conveniente aos horários de trabalho dos produtores. Entretanto, máquinas maiores demandam correntes elétricas de partida mais intensas, o que exige inversores de maior capacidade para suportar os surtos de corrente de partida dos seus motores.

Despoldadeiras de Frutas					
Marca	Modelo	Capacidade de Processamento	Potência		Consumo de Energia Diário*
			Nominal	Surto	
		kg/h	CV	VA	Wh/dia
Bonina	Compacta	100	1,0	6.216	4.718
Metvisa	DG-10	60	0,3	2.139	2.621
	DG-20	100	0,5	3.208	2.359
Macanuda	DM-Ji-05	200	0,5	3.208	1.179
	DM-Ji-Sp1	250	1,0	6.416	1.887
Tortugan	MS 200	200	0,5	3.208	1.179

* Consumo máximo estimado para o motor a plena carga e processamento de 500 kg/dia

Tabela 3-1: Exemplos de despoldadeiras de frutas disponíveis no mercado nacional.

A escolha da despoldadeira deve ser feita em função dos tipos de frutas processadas, do volume diário de produção previsto e da rotina de trabalho concebida. Para efeito de concepção e

dimensionamento de um CCP típico, pode ser considerada uma despoldadeira de potência nominal de 0,5 CV, produzindo 100 kg de polpa por hora, trabalhando por até 5 horas, em um dia de trabalho típico, das 10 às 16 horas, 5 dias por semana. O consumo diário médio de energia é de 2.359 Wh/dia para uma produção de 500 kg/dia de polpa, ou 51,9 kWh/mês para 22 dias de trabalho mensal.

Congelador e Câmara Frigorífica

O congelador e a câmara frigorífica têm a finalidade de congelar e armazenar produtos, conservando-os em bom estado para posterior consumo. A temperatura recomendada para o congelamento da polpa é na faixa de -5°C a -23°C negativos. No entanto, o tempo necessário para abaixar a temperatura do produto para -5°C negativos não deve ultrapassar 8 horas. Essa temperatura deverá atingir cerca de -18°C negativos em um tempo máximo de 24 horas, e ser mantida durante todo o tempo de armazenamento e transporte, até o momento do consumo.

O congelador com tampa horizontal é mais eficiente que o de porta vertical, pois há menos troca de calor na abertura, reduzindo o consumo de energia. Uma relação mais completa de congeladores consolidados no mercado brasileiro pode ser obtida na página do INMETRO: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/congeladores.pdf>.

Os congeladores disponíveis no mercado nacional utilizam o ciclo de compressão de vapor através de compressores em corrente alternada. Os congeladores de tampa horizontal são equipamentos de produção em série, disponíveis no mercado para pronta entrega, e apresentam algumas vantagens em relação às câmaras frigoríficas, tais como maior flexibilidade no transporte, instalação, operação e manutenção, além de serem modulares e possibilitarem maior adequação ao volume de produção. O projetista deve optar entre o congelador ou a câmara frigorífica, de acordo com as características do CCP, procurando não ultrapassar as limitações energéticas do sistema de geração de eletricidade.

Considerando a escala de produção de até 500 kg/dia de polpa e o transporte semanal, poderão ser necessários até 5 congeladores para armazenamento do produto. Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico, podem ser considerados 5 congeladores de 519 litros, 220 V, potência nominal total de 920 W e um consumo diário médio de 14.100 Wh/dia, ou 423 kWh/mês.

Uma alternativa aos congeladores é a instalação de uma câmara fria com volume aproximado de $2,5\text{ m}^3$ e com consumo de eletricidade compatível com as disponibilidades energéticas do CCP. O consumo de eletricidade da câmara fria deve estar na faixa de consumo dos congeladores, em torno de 14.100 Wh/dia, ou 423 kWh/mês. Como exemplo, poderia ser dimensionada uma minicâmara modular de $2,5\text{ m}^3$, 220 V e 1 HP de potência nominal.

Bomba de Água para Abastecimento de Reservatório

A bomba de água tem a finalidade de abastecer o reservatório do CCP para que haja água disponível ao consumo, lavagem das frutas e higiene geral. Na especificação da bomba de água deverá ser levado em conta o tipo de captação, as alturas manométricas, as quantidades de água necessárias ao processo, entre outros.

A Tabela 3-2 apresenta alguns modelos de referência de motobombas disponíveis no mercado nacional.

Motobombas para Água								
Marca	Modelo	Tipo	Tensão	Potência Elétrica	Vazão Máxima	Altura Manométrica Máxima	Consumo de Energia Máximo	
			V	W	l/dia	m	24 h/dia	2.000 l/dia
							Wh/dia	Wh/dia
Anauger	700	Cisterna	220	450	20.400	50	10.800	1.059
	800	Poço Tub	220	380	13.200	65	9.120	1.382
Ferrari	IDB-35 1/4	Superfície	220	180	4.800	28	4.320	1.800

Tabela 3-2: Exemplos de motobombas disponíveis no mercado nacional.

Para uma vazão de 2.000 litros por dia, compatível com um CCP para processamento de até 500 kg de polpa por dia, prevê-se um consumo de energia elétrica de 1.059 a 1.800 Wh/dia. Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico, pode ser considerada uma motobomba de 220 V, bombeando 2.000 l/dia de água, com uma potência nominal de 450 W e um consumo diário médio de 1.059 Wh/dia, ou 23,3 kWh/mês, considerando uma operação de 22 dias por mês.

Visto que a água é um insumo importante para os processos de produção e higienização das instalações para o processamento de alimentos, o projetista deve avaliar o tipo de tratamento que será aplicado na água disponível.

Mesa de Lavagem por Aspersão

A mesa de lavagem por aspersão é utilizada na etapa da lavagem das frutas para remoção de impurezas remanescentes, além da retirada do excesso de cloro. A lavagem é realizada através de bicos atomizadores que pulverizam água tratada em quantidades ideais, retirando o excesso de cloro da lavagem anterior. A Tabela 3-3 apresenta alguns modelos de mesas de lavagem por aspersão, disponíveis no mercado brasileiro e com assistência técnica garantida.

Mesas de Lavagem por Aspersão					
Marca	Modelo	Vazão Máxima	Potência		Consumo de Energia para 500 kg/dia *
			Nominal	Surto	
		l/dia	CV	VA	Wh/dia
Macanuda	ML 2000	ND	0,5	3,208	1.207
Tortugan	-	10.000	1,0	6.416	2.413

* Consumo estimado considerando dados fornecidos pelo fabricante e 2 horas diárias de operação

Tabela 3-3 Exemplos de mesas de lavagem de frutas disponíveis no mercado nacional.

Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico, com uma faixa de produção diária de polpa de até 500 kg/dia, pode ser considerada uma mesa de lavagem por aspersão de 220 V, com uma bomba de 0,5 CV e um consumo médio de até 1.207 Wh/dia, ou 26,6 kWh/mês, considerando uma operação de 22 dias por mês.

Iluminação

A iluminação tem a finalidade de possibilitar a realização de trabalhos noturnos e melhorar a visibilidade, garantindo a qualidade e segurança nos processos produtivos.

Considerando que o espaço físico necessário para o processamento de 500 kg/dia de polpas de frutas é relativamente pequeno, assim como os períodos de utilização de iluminação artificial, prevemos a utilização de poucas lâmpadas de baixa potência e um pequeno consumo de energia, quando comparado com os demais equipamentos elétricos. No projeto específico do CCP, recomendamos selecionar lâmpadas e luminárias de alta eficiência, do tipo fluorescente ou LED, como sugerido na Tabela 2-4 do Capítulo 2.

Para efeito de dimensionamento e concepção de um CCP típico, na área de produção são utilizadas 10 lâmpadas fluorescentes de 16 W, 220 V, ligadas 6 h/dia, com uma potência nominal total de 160 W e um consumo diário médio de 960 Wh/dia, ou 21 kWh/mês, considerando uma operação de 22 dias por mês.

Equipamentos Diversos

Poderão ser disponibilizadas tomadas diversas de 220 V, em corrente alternada, para conexão de aparelhos e máquinas necessários ao processo produtivo e de uso comum, de acordo com o projeto específico como, por exemplo, ventiladores, balanças eletrônicas, dosadores semiautomáticos, bombas dosadoras de cloro, aparelhos de comunicação, seladoras de embalagens, entre outros.

Conforme as características dos CCPs com suprimento de energia elétrica pela fonte solar fotovoltaica, deverão ser utilizados equipamentos mais simples e práticos, com baixo consumo de energia ou até mesmo manuais, sem necessidade de alimentação elétrica. O projetista deve analisar a viabilidade de usar dosadores manuais, balanças mecânicas, entre outros.

É difícil prever o uso das tomadas com precisão, sendo objeto de recomendações específicas para evitar o uso demasiado da energia elétrica. No caso da instalação de ventiladores, aqueles com baixo consumo de eletricidade devem ser especificados, priorizando equipamentos na categoria "A" de eficiência do selo do Procel/INMETRO, além de instruções para uso estritamente necessário aos trabalhos do CCP. Foi prevista a utilização de dois ventiladores, 6 horas por dia. Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico, podem ser considerados os equipamentos e os respectivos consumos de referência descritos na Tabela a seguir.

Equipamentos Diversos de um CCP para Beneficiamento de Polpas de Frutas				
Equipamento	Potência	Período de Operação	Consumo de Energia	
	W	h/dia	Wh/dia	kWh/mês
Ventilador (2)	200	6,0	1.200	26,4
Balança eletrônica	10	0,5	5	0,11
Dosador de cloro	30	0,5	15	0,33
Seladora de embalagem	400	1,0	400	8,8
Outros	800	2,0	1.600	35,4
TOTAL	1.440	-	3.220	71

Tabela 3-4: Consumo de referência dos equipamentos diversos para o CCP.

Consumo de Energia Típico dos Equipamentos de Produção

A Tabela 3-5 resume o consumo dos equipamentos de produção do CCP para processamento de até 500 kg/dia de polpas de frutas. O consumo total de referência é de 617 kWh/mês.

Consumo de Energia Típico dos Equipamentos de Produção (500 kg/dia de polpa)				
Equipamento	Capacidade/ Produção Máxima	Consumo de Energia		
		W	Wh/dia	kWh/mês
Despolpadeira	500 kg/dia	367,75	2.359	52
Congelador/Câmara frigorífica	2.595 litros	920	14.100	423
Motobomba	2.000 l/dia	450	1.059	23
Mesa de aspeção	500 kg/dia	367,75	1.207	27
Iluminação	10 x 16 W x 6 h/dia	160	960	21
Equipamentos diversos	-	1.440	3.220	71
TOTAL	-	3.914	22.905	617

Tabela 3-5: Consumo de referência dos equipamentos empregados no processo produtivo do CCP.

A curva de carga dos equipamentos de produção vai depender da rotina de trabalho dos produtores. A título de exemplo, podemos considerar o caso em que o trabalho é realizado diariamente, de segunda-feira a sexta-feira, durante o dia, de maneira uniforme, no horário de 10 às 16 horas, enquanto os congeladores funcionam continuamente, 24 horas por dia, 7 horas por semana. Nesse caso de referência, a curva de carga para um dia de semana está apresentada na Figura 3-2. No final de semana o consumo é constante, pois apenas os congeladores ficam ligados.

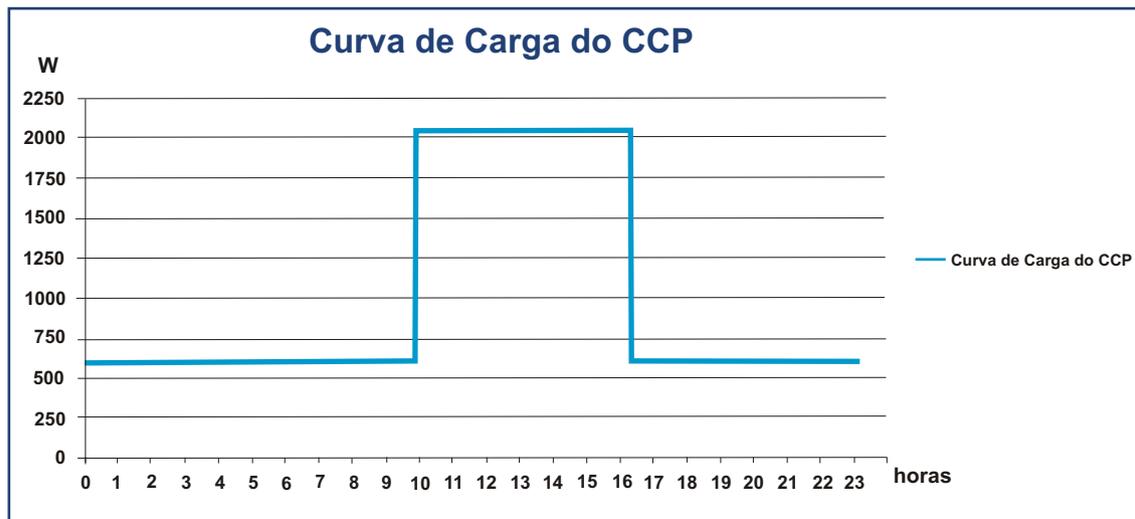


Figura 3-2: Curva de carga de referência do CCP para um dia útil da semana.

Observando a curva de carga, verificamos que o sistema apresenta o pico de consumo durante o período em que a radiação solar está presente, o que resulta em uma maior eficiência e durabilidade para o banco de baterias já que, na maior parte do tempo, a energia solar é consumida instantaneamente, sem necessidade de ser armazenada nas baterias.

Dimensionamento da Unidade Produtiva

Com base no levantamento de equipamentos apresentados anteriormente, foram analisadas diversas alternativas de configuração básica para atender um CCP de beneficiamento de polpas de frutas. É boa prática, sempre analisar diferentes alternativas nos projetos específicos de um CCP, em função das características locais do processo produtivo, dos recursos energéticos disponíveis e das características e preços dos equipamentos disponibilizados no mercado. Pela avaliação do recurso energético, a produção de até 500 kg/dia de polpas de frutas pode ser processada somente com o emprego da fonte solar, considerando o mês mais crítico de radiação solar no dimensionamento do sistema de geração do CCP.

A Figura 3-3 apresenta o diagrama básico concebido para uma unidade modular de um CCP para beneficiamento de polpa de fruta e armazenamento a frio. Esse diagrama deverá ser adaptado e detalhado em função das condições operativas e das características dos equipamentos selecionados.

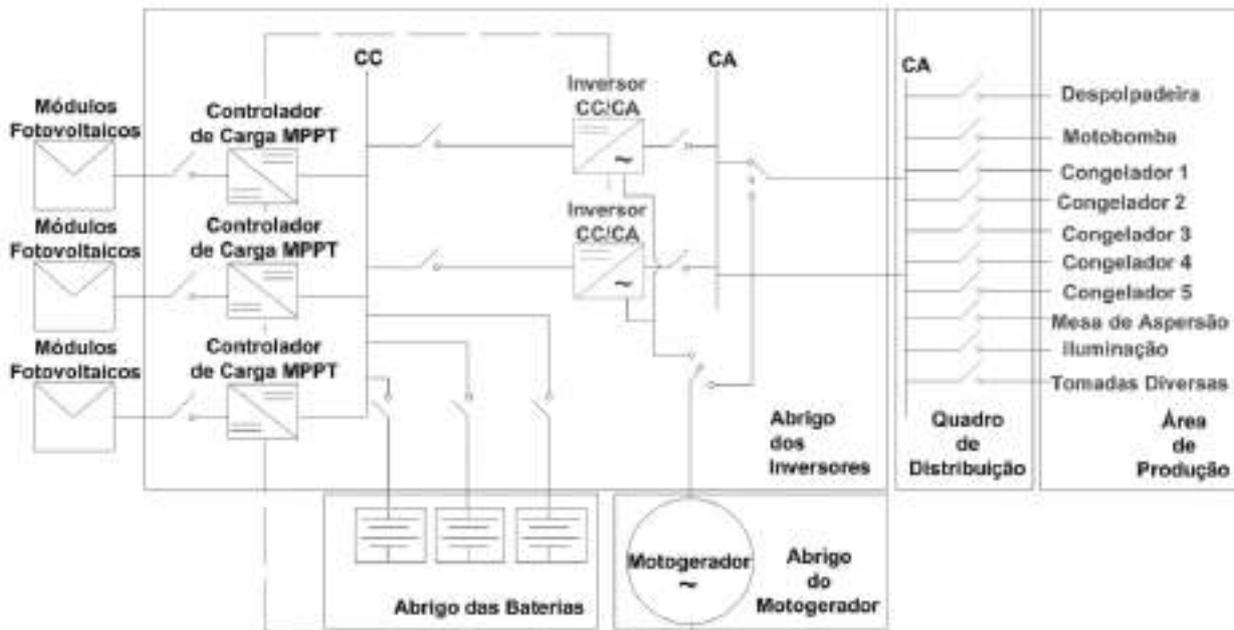


Figura 3-3: Diagrama básico de uma unidade modular para um CCP para beneficiamento de polpa de frutas e armazenamento a frio.

A configuração básica para a área de produção prevê uma despulpadeira, uma motobomba, um conjunto de congeladores de tampa horizontal (ou uma câmara frigorífica), uma mesa de aspersão, lâmpadas, além de equipamentos elétricos diversos necessários para o processo produtivo ou para eventual utilização pelos funcionários do CCP.

Para a geração da eletricidade necessária ao acionamento desses equipamentos produtivos, foram previstos módulos fotovoltaicos, para geração de eletricidade; baterias, para armazenamento da energia gerada; controladores de carga MPPT; inversores de corrente contínua

para corrente alternada; um moto gerador a diesel, para suprimento complementar de eletricidade; um *soft starter* ou mais, caso necessário, para redução da corrente de partida dos motores elétricos. No diagrama da Figura 3-3 não foi previsto o uso do *soft starter*. Os módulos, controladores, baterias e inversores foram divididos em, no mínimo, dois conjuntos, para propiciar maior confiabilidade e segurança operacional. Como o projeto contempla a utilização de dois inversores, apenas um deles deve ser capaz de suportar toda a carga, permanecendo o outro desligado, como uma reserva para eventuais necessidades de manutenção.

Caso haja necessidade de ampliação da capacidade de produção do CCP, poderão ser incluídos novos conjuntos de módulos fotovoltaicos, de controlador de carga e banco de baterias no barramento de corrente contínua, reavaliando os demais equipamentos. Uma alternativa para expansão é inserir novos sistemas de geração fotovoltaica, com inversores para a conexão à rede no barramento de corrente alternada. O projetista da expansão deve avaliar a alternativa mais conveniente para as circunstâncias do projeto.

Dimensionamento dos Equipamentos da Unidade Modular

Características e Quantidade de Energia Demandada pelo CCP

A Tabela 3-5 mostra que o consumo de eletricidade típico de um CCP no mês mais crítico é de 617 kWh/mês, considerando as premissas e os equipamentos definidos para o processo produtivo desse CCP, com um nível de produção de até 500 kg/dia de polpas de frutas. O maior consumidor de energia é o conjunto de congelamento, cujo consumo de eletricidade é muito afetado pelo uso e pela temperatura externa, entre outros fatores. A disponibilidade de energia elétrica pelo sistema de geração solar é dependente do nível de insolação, podendo ser bem superior ao apresentado nesse dimensionamento nos meses de maior insolação.

Foram definidas as seguintes premissas para o dimensionamento do sistema de geração de energia elétrica para o CCP destinado ao beneficiamento de polpas de frutas e armazenamento a frio:

Consumo de referência: 24 kWh/dia ou 720 kWh/mês;

Autonomia mínima para o banco de baterias: 2 dias.

Dimensionamento do Banco de Baterias

O dimensionamento do banco de baterias segue as mesmas premissas adotadas para o dimensionamento do CCP descrito no Capítulo 2.

Sendo assim, os seguintes valores foram adotados:

Tensão de trabalho de referência: 48 V

Tipo de Bateria de Referência: OPzS

A capacidade mínima do banco de baterias pode ser calculada pela seguinte expressão¹²:

$$\text{Capacidade (Wh)} = \frac{\text{Consumo}_{CA} \text{ (Wh/dia)} \cdot \text{Autonomia (dias)}}{\eta_{CC/CA} \cdot DOD_{Max} \cdot \text{Capacidade}_{EOL}}$$

Sendo:

Consumo_{CA} - Referência de consumo diário de energia elétrica em corrente alternada do CCP. Nesse estudo foi considerado igual a 24 kWh/dia;

Autonomia - Autonomia do banco de baterias em períodos sem insolação: 2 dias de acordo com as exigências mínimas da ANEEL;

$\eta_{CC/CA}$ - Considerado 0,75 (25% de perdas);

DOD_{Max} - Considerado 0,6 (60%);

Capacidade_{EOL} - Considerado 0,9 (90%).

Capacidade mínima calculada para o banco de baterias: 118,5 kWh

Considerando a conveniência de se padronizar os projetos dos sistemas de geração de eletricidade, podemos considerar:

Capacidade de referência do banco de baterias: 120 kWh (C100)

Como referência para os cálculos de dimensionamento e simulação de desempenho, podemos utilizar um banco de baterias composto por 3 séries de baterias OPzS, cada uma delas composta por 24 baterias de 2 V - 886 Ah (C10), conectadas em série, totalizando 72 baterias, 2.658 Ah/48 V (C10) ou 127,6 kWh (C10). Considerando que o regime de descarga é superior a 10 horas, concluímos que esse banco de baterias, atende a capacidade estabelecida de referência de 120 kWh (C100).

Tendo como referência a Tabela 1.2 do Capítulo 1, dois modelos de bateria atendem ao dimensionamento do banco de baterias, com potência mínima de 886 Ah.

Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico

O dimensionamento para o gerador fotovoltaico segue as mesmas premissas adotadas para o dimensionamento do CCP descrito no Capítulo 2. Para o dimensionamento do gerador fotovoltaico é válida a seguinte expressão¹³:

$$\text{Potência mínima do gerador (Wp)} = \frac{\text{Consumo diário (Wh/dia)}}{\text{Radiação solar no plano de instalação (Wh/m}^2\text{/dia)} \times \text{PR}}$$

¹²⁻¹³ Ministério de Minas e Energia (MME), "Especificações Técnicas dos Programas para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados no âmbito do Programa Luz para Todos", Outubro/2015.

Sendo:

Consumo diário de energia do CCP: 24.000 Wh/dia

Radiação solar no plano de instalação no mês mais crítico: 4.000 Wh/m²/dia (4 kWh/m²/dia). Como efetuado no dimensionamento do CCP realizado no Capítulo 2, considerou-se o valor de 4 kWh/m²/dia como referência para o dimensionamento. A seleção do mês mais crítico implica que em todos os demais meses haverá maior disponibilidade de energia.

Performance Ratio (PR): 0,48.

$$PR = \eta_{FV} \cdot \eta_{con} \cdot \eta_{CC/CC} \cdot \eta_{IFR} \cdot \eta_{Tr} \text{ sendo } \eta_{CC/CC} = \eta_{Bat} (1 - F_{CD}) + F_{CD}$$

A definição dos termos da expressão acima se encontra no item “Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico”, do Capítulo 2.

Capacidade mínima calculada do gerador fotovoltaico: 12.377 Wp

Observando a conveniência de se padronizar os projetos dos sistemas de geração de eletricidade, podemos considerar:

Capacidade nominal de referência do gerador fotovoltaico: 12.500 Wp

Como referência para os cálculos de dimensionamento e simulação de desempenho, podemos utilizar um arranjo de 12.690 Wp, composto por 54 módulos policristalinos de 235 Wp cada, divididos em 3 arranjos de 18 módulos, cada um deles composto por 6 módulos em série e 3 fileiras em paralelo. Tendo como referência a Tabela 1-1 do Capítulo 1, apenas um modelo de painel fotovoltaico apresenta o valor de 235 Wp, sendo utilizado acima como referência para o dimensionamento do gerador fotovoltaico.

Dimensionamento do Controlador de Carga

O dimensionamento do controlador de carga segue as mesmas premissas adotadas para o dimensionamento do CCP descrito no Capítulo 2.

Tensão de trabalho das baterias: 48 V

Capacidade: Será considerada no dimensionamento a corrente de curto circuito dos módulos, acrescida de um fator mínimo de segurança igual a 10%.

Para o dimensionamento e simulação do desempenho do sistema de geração elétrica, consideramos a utilização de 3 controladores de carga do tipo MPPT, com tensão de 48 V e corrente máxima de 60 A cada. Cada um desses controladores está dimensionado para trabalhar com um banco de baterias de 48 V e suportar, com segurança, a corrente de curto circuito de cada conjunto de 18 módulos. O valor da corrente de curto-circuito suportada pelo controlador de carga é dada pela seguinte expressão: $6 \times 8,19 A = 49,1 A$.

Tendo como referência a Tabela 1-3 do Capítulo 1, todos os modelos de controladores de carga do tipo MPPT que suportam uma corrente máxima com valor superior a 49,1 A estão aptos ao uso no dimensionamento.

Dimensionamento do Inversor

O dimensionamento para o inversor segue as mesmas premissas adotadas para o dimensionamento do CCP descrito no Capítulo 2.

Cada inversor deve ter capacidade para trabalhar isoladamente, alimentando toda a carga, e também apresentar capacidade para operar em conjunto com o motogerador a diesel.

Tensão de entrada adequada à tensão do banco de baterias: 48 V;

Tensão e frequência de saída adequada à tensão e frequência das cargas: 220 V, 60 Hz;

Forma de onda: senoidal pura;

Potência mínima de operação contínua: 3.914 W (40°C);

Potência mínima de operação contínua: 4.425 W (40°C).

Potência mínima de curta duração (3s): Avaliar de acordo com os equipamentos previstos. Referência: 12.000 VA.

Como exemplo para o dimensionamento e simulação do desempenho podemos utilizar dois inversores 48/220V e 5.000 W de potência nominal mínima. Cada um desses inversores está dimensionado para trabalhar isoladamente e suprir, com segurança, a corrente nominal e de partida das cargas. No caso de equipamentos com motores acima de 1 CV, considerar a instalação adicional de um *soft starter*.

Dimensionamento do Soft Starter

O dimensionamento do *soft starter* deve atender à tensão das cargas e ser compatível com a potência dos motores.

Tensão de operação: 220 V

Potência do motor elétrico: 3,0 kW

No caso específico do CCP para beneficiamento de polpa de fruta e armazenamento a frio, a instalação do *soft starter* pode ser dispensada, pois o inversor é capaz de suportar os transitórios da partida dos motores especificados para esse CCP.

Dimensionamento do Motogerador

O motogerador deve ser adequado à tensão de trabalho de 220 V, ter capacidade para alimentação das cargas, tanto em funcionamento contínuo quanto na partida dos motores, garantindo uma potência mínima em funcionamento contínuo igual a 5 kVA e de curta duração igual a 12 kVA, considerando o padrão de cargas descrito na Tabela 3-5.

Como exemplo para o dimensionamento e simulação do desempenho, podemos usar o motogerador monofásico, definido na Tabela 1-5 do Capítulo 1, com 220 V / 60Hz, capacidade nominal de 12 kVA e de curta duração de 12,5 kVA, operando com motores de até 3,0 kW.

Configuração Básica da Unidade Produtiva

A Figura 3-4 mostra a configuração final do circuito elétrico do sistema de geração de eletricidade dimensionado para o atendimento das cargas do CCP, considerando uma capacidade de produção de até 500 kg de polpa de fruta por dia.

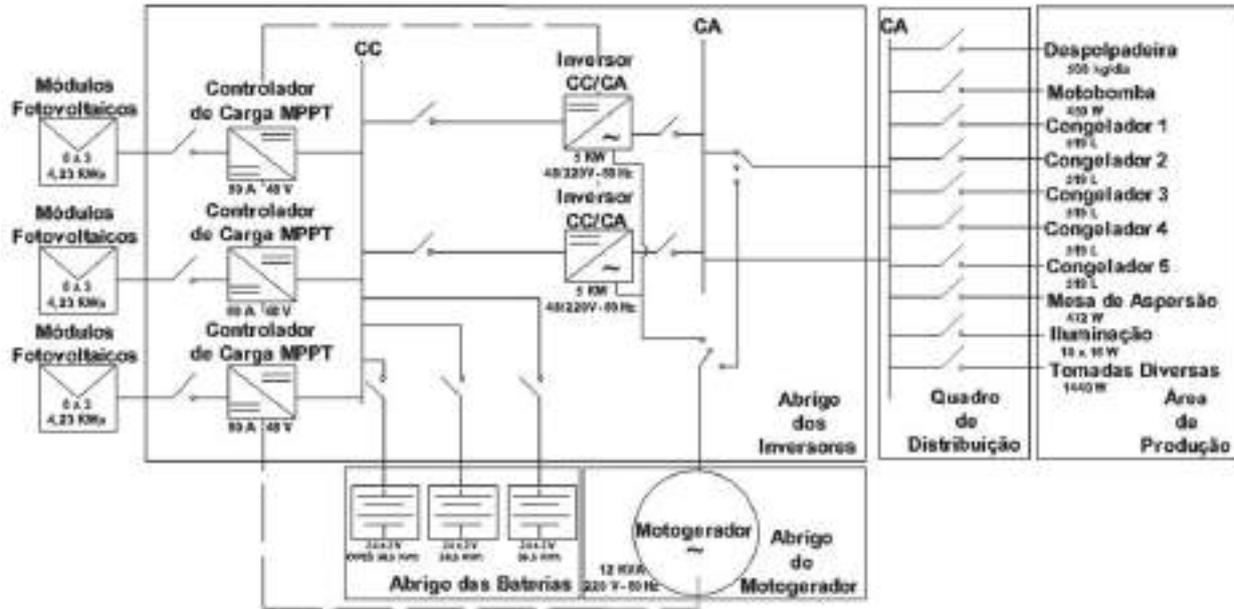


Figura 3-4: Diagrama do circuito elétrico da unidade modular de um CCP para processamento de polpa de fruta e armazenamento a frio.

Simulação do Desempenho do Sistema de Geração Dimensionado

A partir do sistema dimensionado e com o uso do software específico para simulação da geração solar, foram realizadas simulações de desempenho do sistema de geração no atendimento aos equipamentos de produção descritos na Tabela 3-5, considerando uma instalação na região de Manaus e consumo de referência de 720 kWh/mês (24.000 Wh/dia). A Tabela 3-6 mostra o desempenho do sistema dimensionado, considerando diferentes consumos de energia: 720 kWh/mês, 860 kWh/mês, 1.020 kWh/mês e 1.200 kWh/mês.

Desempenho do Sistema de Geração Dimensionado					
Consumo de Eletricidade	Energia Solar			Fonte Energética	
	Disponibilizada	Utilizada	Não Utilizada	Solar	Diesel
kWh/mês	kWh/mês	kWh/mês	kWh/mês	%	%
720	1.369	720	582	100	0
860	1.349	860	427	100	0
1.020	1.305	1.016	238	99,6	0,4
1.200	1.245	1.120	87	93,2	6,8

Tabela 3-6: Simulação do desempenho do sistema de geração de eletricidade dimensionado.

As simulações realizadas mostram que, nessa região, o sistema de geração pode disponibilizar uma maior quantidade de energia durante todo o ano, em relação ao mínimo proposto, uma vez que foi dimensionado considerando a radiação solar no mês mais crítico igual a 4 kWh/m²/dia. Observamos nas simulações que durante todo o ano há um excesso de energia disponibilizada, que pode ser usada para produzir uma quantidade de polpa maior que os 500 kg diários estabelecidos como referência, devendo para tanto adequar as rotinas operacionais.

No caso específico de um CCP localizado na região de Manaus, não houve necessidade de acionar o motogerador para uma situação de consumo médio de até 860 kWh/mês. Mesmo com um consumo diário de 1.020 kWh/mês, houve pouca necessidade de acionar o motogerador, uma vez que 99,6% da carga foi atendida pela fonte solar. Quando o consumo alcança 1.200 kWh/mês, o motogerador supre 6,8% da carga com um significativo consumo de óleo diesel.

Configuração Final da Unidade Produtiva

A Tabela 3-7 apresenta a configuração final dos equipamentos de um CCP para produção de até 500 kg/dia de polpa de fruta, apresentando também uma estimativa de percentual de custo dos equipamentos e do serviço de instalação do sistema em relação ao valor total do projeto.

Estimativa de Custo de Aquisição e Instalação de um CCP para 500 kg/dia de Polpa de Fruta		
Equipamentos de Produção	Capacidade	Custo Estimado
		%
Despolpadeira	100 kg/hora	0,3
Congelador / Câmara Fria	2.595 litros	2,0
Bomba de Água	4.800 l/dia	0,1
Mesa de Lavagem por Aspersão	500 kg/dia polpa	0,8
Lâmpadas com Reator	10 x 16W	0,1
Outros Equipamentos e Utensílios de Produção		2,2
Total		5,5
Equipamentos de Geração de Energia Elétrica	Capacidade	Custo Estimado
		%
Módulo Fotovoltaico	12.690 Wp	10,7
Baterias	118,5 kWh	33,7
Motogerador	12 kVA	2,7
Controladores de Carga	3 x 60 Ah/48 V	2,1
Inversores	2 x 5.000 W	6,9
Equipamentos de Proteção - Controle - Monitoramento		1,1
Materiais de Instalação		2,6
Total		59,8

Serviços	Capacidade	Custo Estimado
		%
Projeto, Engenharia e Administração		6,5
Obras Civas		13,0
Instalação e Comissionamento		15,2
Total de Serviços		34,7
TOTAL GERAL		100,0

Tabela 3-7: Percentual de custos estimados para a instalação de um CCP para processamento de 500 kg/dia de polpas de frutas.





Capítulo 4

CCP para

Farinha de Mandioca



Centro Comunitário de Produção de Farinha de Mandioca

Neste capítulo, apresentamos o estudo desenvolvido para a concepção de um Centro Comunitário de Produção (CCP) de uma unidade modular básica de beneficiamento de farinha de mandioca e similares, com o emprego de Fontes Renováveis de Energia.

O objetivo específico desse projeto é atender a demanda de uma pequena comunidade rural, situada em local remoto e distante da rede de energia elétrica, que depende principalmente da farinha de mandioca para sua subsistência e que necessita de meios para beneficiar esse produto.

O “Manual de Referência do SEBRAE para Casas de Farinha - Boas Práticas de Fabricação, Diagnóstico Ambiental, Saúde e Segurança no Trabalho, Ergonomia e Projeto Arquitetônico”¹⁴ foi utilizado como referência para a elaboração desse projeto, apresentando recomendações técnicas para a implantação de uma unidade agroindustrial de processamento de mandioca. É importante ressaltar que o projeto contemplado no manual de Referência do SEBRAE foi adequado ao porte da produção estimada para a comunidade remota e de acordo com a disponibilidade energética do sistema de geração de eletricidade baseado na fonte alternativa de energia.

¹⁴ SEBRAE - Manual de Referência para Casas de Farinha - Boas Práticas de Fabricação, Diagnóstico Ambiental, Saúde e Segurança no Trabalho, Ergonomia e Projeto Arquitetônico 2006- GLÁUCIA ZOLDAN e outros.
http://industriasantacruz.com/wp-content/uploads/2013/09/ManualdeReferenciaSEBRAE_AL.pdf.

Análise e Definição do Processo Produtivo

O Processamento da Farinha de Mandioca

A farinha de mandioca faz parte da dieta das pequenas comunidades da região amazônica, sendo um alimento tradicional e produzido na própria região, em inúmeras pequenas unidades artesanais rurais, conhecidas como casas de farinha. É uma das mais importantes fontes de carboidrato para essas comunidades.

Nesse contexto de produção da farinha o nível tecnológico é baixo, sem muitos cuidados com as exigências sanitárias e ambientais, depreciando e reduzindo o potencial econômico do produto. O processamento criterioso e as boas práticas de fabricação, com maior padrão tecnológico e sanitário, valorizam o produto possibilitando ainda a estocagem, o transporte por maiores distâncias e a venda de uma farinha de melhor qualidade, com consequente aumento de renda para os produtores.

A implantação de uma unidade agroindustrial de processamento de farinha de mandioca, como a apresentada pelo Manual SEBRAE¹⁴, pressupõe uma maior escala de produção da farinha, que é relativamente elevada para as pequenas comunidades da Amazônia e para as disponibilidades energéticas de sistemas de geração de energia elétrica baseados em fontes alternativas.

É necessário considerar que cada CCP, como unidade coletiva de processamento de produtos, deve refletir o perfil dessas pequenas comunidades, isoladas e remotas. Nessas comunidades, o projeto envolve poucas famílias, com recursos escassos, caracterizando um modesto potencial de produção diária, pequeno se comparado ao potencial produtivo de uma unidade CCP atendida com energia convencional.

O levantamento realizado durante o período de quatro anos, sobre a capacidade de produção da farinha de mandioca, em 10 comunidades ribeirinhas ao rio Unini¹⁵, mostrou que 161 famílias tiveram participação nessa produção, sendo que no ano de 2012 a produção total de farinha foi de 64.735 kg ou 5.395 kg/mês. Se considerarmos uma semana de trabalho com 5 dias e 22 dias por mês, o resultado será de 245 kg/dia, ou seja, cerca de 1,52 kg/dia/família de farinha.

Supondo que uma casa de farinha pode atender também as comunidades próximas e que o nível tecnológico e a produtividade podem ser aumentados, podemos contemplar, como referência, um nível de produção médio de até 500 kg/dia de farinha de mandioca em um CCP. Levando em conta que o rendimento médio do processo é de, aproximadamente, 25% a 30% do peso da mandioca, imaginamos que a produção de mandioca, por todos os produtores, será em torno de 1.666 kg.

Analisando a capacidade socioeconômica dessas comunidades, podemos prever uma menor complexidade do processo produtivo, além da escala produtiva reduzida. Conforme descrito

¹⁵ Eletrobras-Amazonas Energia - Fornecimento de Energia para CCP e Implantação de uma Casa de Farinha na Comunidade Terra Nova. Março de 2013.

no Manual SEBRAE¹⁴, trabalhar com alimentos perecíveis, como a farinha de mandioca, requer cuidados especializados, com exigências sanitárias rigorosas, implicando que os processos devam garantir a qualidade higiênico-sanitária e atender aos padrões estipulados pela legislação vigente. Assim, o projeto específico de um CCP para produção de farinha de mandioca deve respeitar todos esses aspectos para a definição dos processos utilizados.

Na Figura 4-1 apresentamos o fluxograma geral do processo de beneficiamento da farinha de mandioca.

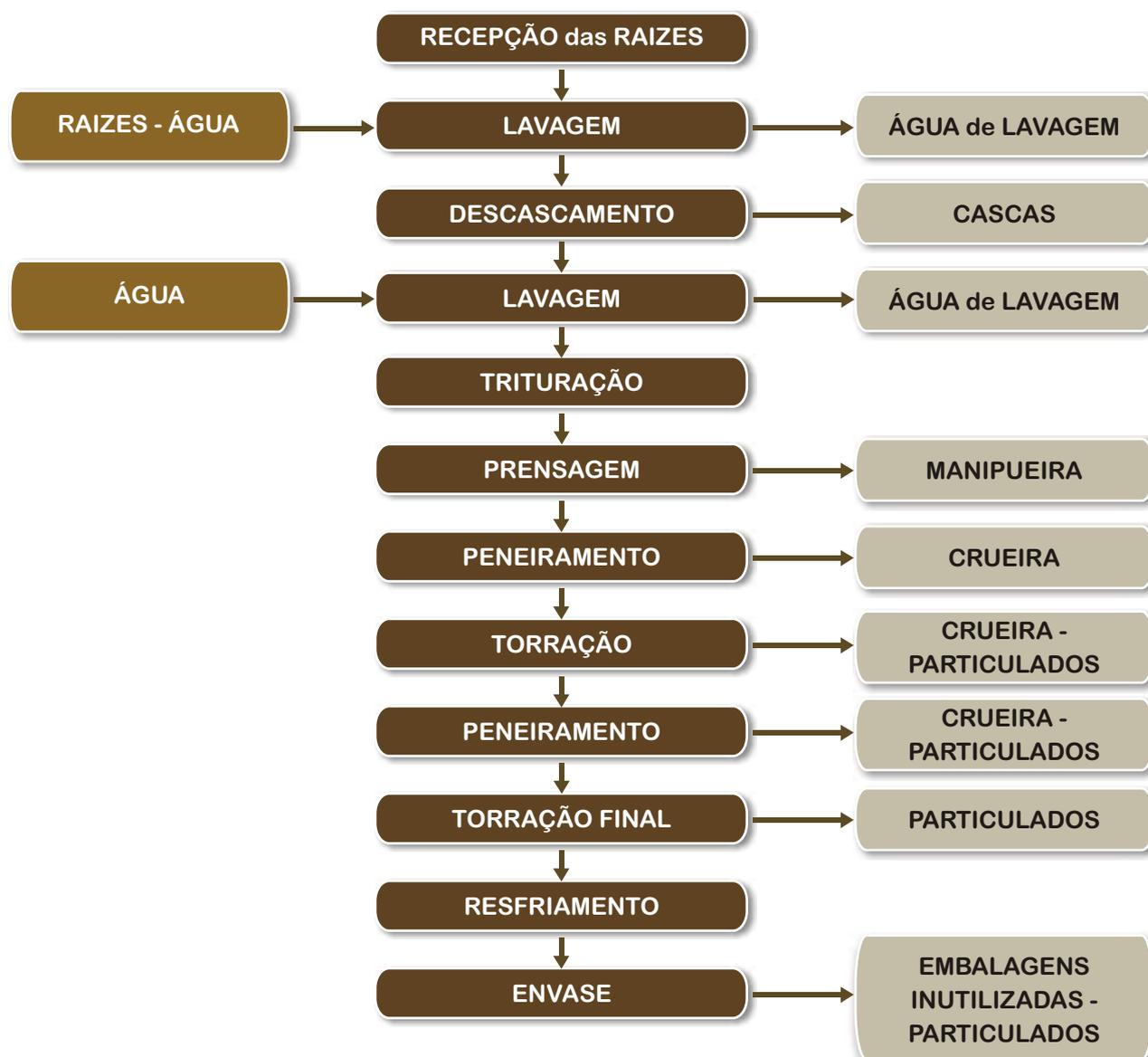


Figura 4-1: Fluxograma do processo de beneficiamento da farinha de mandioca.

A seguir, apresentamos a descrição detalhada de cada uma das etapas do processo de beneficiamento da farinha de mandioca, que pode ser consultada no Manual SEBRAE¹⁴ e no estudo da Embrapa¹⁶.

¹⁶ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Amapá - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 2011 - Valéria Saldanha Bezerra - Planejando uma casa de farinha de mandioca. file:///C:/Users/Carlos%20Alberto/Downloads/3PlanejandoumaCasadeFarinha%20(1).pdf.

Recepção das Raízes

Para a recepção e estocagem da matéria-prima são necessárias uma área externa adequada para a chegada e o descarregamento dos veículos, uma balança e também um local apropriado para o armazenamento. Esses ambientes devem ser iluminados e a balança pode ser preferencialmente mecânica. As raízes não devem ficar mais de 24 horas armazenadas, para não comprometer a qualidade da farinha.

Lavagem

A seleção e a primeira lavagem das raízes exigem uma boa iluminação e muita água.

Descascamento

O descascamento pode ser feito manualmente, com facas de aço inoxidável e outros utensílios, ou mecanicamente, através de um lavador-descascador, sempre nas melhores condições de higiene. O descascamento mecânico evita o trabalho penoso e perigoso do descascamento manual. É importante que o ambiente seja bem iluminado.

Lavagem

A segunda lavagem das raízes, já descascadas, exige também uma boa iluminação e muita água. Após a lavagem, a mandioca deve ficar de molho em água clorada para evitar o aparecimento de bactérias e depois enxaguada. As etapas de descascamento e lavagem podem ser conjugadas de acordo com os equipamentos disponíveis.

Trituração

É realizada a trituração (ou ralação) da mandioca. Pode ser feita manualmente ou mecanicamente, através de um ralador elétrico ou um triturador, sempre nas melhores condições de higiene. A trituração mecânica evita o trabalho penoso e perigoso da ralação manual. É importante que o ambiente seja bem iluminado.

Prensagem

Depois de triturada, a massa deve ser prensada para redução da umidade. A prensagem pode ser executada em prensas manuais ou elétricas, sendo que esta última preserva mais o trabalhador e torna a prensagem mais eficiente.

Peneiramento

O primeiro peneiramento serve para eliminar os torrões, esfarelando mais a massa e preparando-a para a torração. O peneiramento pode ser executado em peneiras manuais ou vibratórias elétricas, com preferência pelas elétricas que melhoram a eficiência do processo e a qualidade do produto.

Torração

Após o peneiramento, a massa deve ser levada ao forno para secagem e clareamento.

Peneiramento

O segundo peneiramento serve para dar uniformidade na granulação da farinha. Pode ser executado em peneiras manuais ou vibratórias elétricas, com preferência pelas elétricas que melhoram a eficiência do processo e a qualidade do produto.

Torração final

Após o segundo peneiramento, a massa deve ser levada ao forno para a torração final, que tem influência direta na qualidade do produto, sua cor e seu sabor.

Resfriamento

O resfriamento é necessário para evitar a formação de gotículas de água condensadas. Pode ser feito em temperatura ambiente, desde que a farinha seja revolvida periodicamente.

Ensacamento

Envolve a classificação da farinha, através de peneiras de diferentes granulações, e o acondicio-

namento em sacos de 50 kg ou de 1 kg. O ensacamento pode ser manual ou feito por ensacadoras automáticas e costuradeiras elétricas. Envolve também o armazenamento até o momento da expedição.

É recomendável o plantio da mandioca entre os meses de maio e outubro, mas o plantio também pode ser feito em qualquer época, desde que haja umidade suficiente para garantir a brotação das hastes. A colheita deve ser iniciada de acordo com o ciclo da espécie utilizada no plantio e é feita manualmente, arrancando-se as raízes, que deverão ser processadas durante as primeiras 24 horas para não comprometer a qualidade da farinha.

A produtividade varia de acordo com as espécies utilizadas, o espaçamento e os tratamentos culturais empregados, com variação média de 15 a 20 toneladas de mandioca por hectare. Com rendimento industrial de 30%, cada hectare pode produzir de 4,5 a 6 toneladas/ano de farinha¹⁷.

Estimando um nível de produção de farinha de 500 kg/dia, o resultado será um processamento de 440 toneladas de mandioca por ano, em uma área plantada de 22 a 29,3 hectares, o que é compatível com o porte das comunidades isoladas.

Para efeito de concepção e dimensionamento do sistema de geração de energia elétrica, levando em conta a diversidade sazonal dos volumes de raízes colhidas, foi considerada uma distribuição uniforme da produção durante todo o ano. Entretanto, o sistema de geração de energia elétrica tem flexibilidade para se adaptar as flutuações naturais do nível de produção, ponderando a possibilidade de armazenamento de energia nas baterias e a presença de um motogerador de retaguarda. Os trabalhos dentro do CCP serão realizados basicamente durante o dia, procurando sempre que possível um sincronismo com o nível de insolação, aumentando a eficiência do processo.

Equipamentos Necessários para o Processo Produtivo

As máquinas usadas no processo produtivo da farinha de mandioca podem utilizar motores monofásicos de corrente alternada em 220 V - 60 Hz. A corrente de partida dos motores dessas máquinas deve ser prevista no dimensionamento do sistema de geração de energia para suportar a potência de curta duração, devendo ser considerada no dimensionamento do inversor e do *soft starter*. A corrente de partida pode chegar em até 8 vezes a corrente nominal e deve ser considerada no dimensionamento do inversor e do *soft starter*. É importante que o motor elétrico das máquinas do processo produtivo seja monofásico, já que não haverá disponibilidade de alimentação trifásica.

Os principais equipamentos que consomem energia elétrica dentro do processo produtivo global estão descritos a seguir. Equipamentos diversos podem ser incluídos, desde que consideradas as limitações do sistema de geração de energia elétrica.

Lavador/Descascador de Mandioca

Lava e descasca a mandioca, retirando sua casca e maximizando a produção. Pode ser fabricado com madeira ou chapa de aço. Esse equipamento trabalha sobre um tanque, em alguns casos parcialmente submerso. Necessita de acionamento com motor elétrico. Conforme a faixa de processamento de mandioca estabelecida, até 1.666 kg/dia, foi feito o levantamento de alguns lavadores/descascadores de referência, disponíveis e consolidados no mercado brasileiro, com

¹⁷ CEPLAC CepecBA - Comissão Executiva de Planejamento da Lavoura Cacaueira - <http://www.ceplac.gov.br/radar/Mandioca.htm>

qualidade e assistência técnica garantida, conforme apresentado na Tabela 4-1.

Lavador/Descascador de Mandioca - 220V/60 Hz					
Marca	Modelo	Capacidade de Processamento	Potência		Consumo de Energia Elétrica *
			Nominal	Surto	
		kg/h	CV	VA	Wh/dia
Fazendinha Máquinas	Nº 1	400	1,5	10.725	6.569
Santa Cruz	RLMF - 01	600	2,0	14.299	5.839
Paranavai Máquinas	MP 1200	250	2,0	14.299	14.013

* Consumo máximo estimado considerando motor a plena carga, eficiência 70% e produção de 1.666 kg/dia de mandioca

Tabela 4-1: Referências de lavador/descascador de mandioca disponíveis no mercado nacional.

A Tabela acima mostra lavadores/descascadores com motores de 1,5 CV e 2,0 CV e capacidade de processamento de 250 kg/hora a 600 kg/hora de mandioca. Considerando o nível de referência de 1.666 kg/dia de mandioca, prevemos um período de operação de 2,8 h/dia para o equipamento de maior capacidade e de até 6,7 h/dia para o de menor capacidade, com consumo de energia elétrica de 5.839 a 14.013 Wh/dia ou 128,5 a 308,3 kWh/mês, considerando 22 dias mensais de operação e motor a plena carga.

Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico podemos considerar um lavador/descascador com motor de 1,5 CV, 220 V, capacidade de produção de 400 kg/hora, operando 4,2 h/dia, com consumo de 6.569 Wh/dia e 144,5 kWh/mês.

Ralador/Triturador de Mandioca

O ralador/triturador de mandioca desintegra a raiz formando uma massa fina. Esse equipamento é acionado por um motor elétrico monofásico. Conforme a faixa de processamento de mandioca, estabelecida até 1.666 kg/dia, foi feito o levantamento de alguns raladores/trituradores de referência disponíveis e consolidados no mercado brasileiro, com qualidade e assistência técnica garantida, apresentados na Tabela 4-2.

Ralador/Triturador de Mandioca - 220V/60 Hz					
Marca	Modelo	Capacidade de Processamento	Potência		Consumo de Energia Elétrica*
			Nominal	Surto	
		kg/h	CV	VA	Wh/dia
Botini	-	50	0,3	2.383	11.678
Macanuda	RM - 900	800	3,0	21.449	6.569
Santa Cruz	RMF - 02	400	2,0	14.299	8.758

* Consumo máximo estimado considerando motor a plena carga, eficiência 70% e produção de 1.666 kg/dia de mandioca

Tabela 4-2: Referências de ralador/triturador de mandioca disponíveis no mercado nacional.

A seleção do ralador/triturador será em função do volume diário previsto para a produção, da rotina de trabalho concebida e das condições comerciais e técnicas especificadas. Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico pode ser considerada uma máquina de potência nominal de 2,0 CV, processando 400 kg de mandioca por hora e operando por 4,2 horas em um dia de trabalho das 10 às 16 horas, 5 dias por semana. O consumo diário médio de energia estimado é de 8.758 Wh/dia para um processamento de 1.666 kg/dia de mandioca.

Prensa

A prensa pode ser manual ou acionada por um motor elétrico. Com a faixa de produção diária de farinha até 500 kg/dia foi feito o levantamento de algumas prensas de referência disponíveis e consolidadas no mercado brasileiro, com qualidade e assistência técnica garantidas, de acordo com a Tabela seguinte.

Prensa para Massa de Mandioca - Manual ou Monofásico 220V/60 Hz					
Marca	Modelo	Capacidade de Produção	Potência		Consumo de Energia Elétrica*
			Nominal	Surto	
		kg/h	CV	VA	Wh/dia
Chapadão Máquinas	2 cestos	300	5,0	35.749	8.762
	Manual	100	0,0	0	0
Fortalmag	PHF	350	5,0	35.749	7.510
	PM-400 - Manual	1.000	0,0	0	0
Macanuda	PM-400 - Manual	250	0,0	0	0
Santa Cruz	PBU - 01	150	0,0	0	0

* Consumo máximo estimado considerando motor a plena carga, eficiência 70% e produção de 500 kg/dia de farinha

Tabela 4-3: Referências de prensa de massa de mandioca disponíveis no mercado nacional.

A Tabela 4-3 mostra máquinas com nível máximo de produção entre 100 e 1.000 kg/hora de farinha de mandioca. Nas máquinas elétricas, a potência dos motores é de 5 CV e o consumo de energia para uma produção de 500 kg/dia de farinha varia entre 7.510 Wh/dia e 8.762 Wh/dia.

Com o porte relativamente reduzido da fábrica de farinha, para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico, recomenda-se considerar a utilização de uma máquina manual, devido a elevada corrente de surto verificada nas prensas elétricas. A prensa manual deverá processar até 150 kg de farinha de mandioca por hora, operando por 3,3 horas, em um dia de trabalho das 10 às 16 horas, 5 dias por semana.

Forno Torrador Mecanizado

O forno é utilizado nos processos de torração e torração final da farinha de mandioca. Conforme a faixa de produção diária de farinha, estabelecida de até 500 kg/dia, foi feito o levantamento de alguns fornos de referência disponíveis e consolidados no mercado brasileiro, apresentados na Tabela 4-4.

Forno Torrador de Farinha de Mandioca - Monofásico 220V/60 Hz					
Marca	Modelo	Capacidade de Produção	Potência		Consumo de Energia Elétrica*
			Nominal	Surto	
		kg/h	CV	VA	Wh/dia
Santa Cruz	FM - 01	150	2,0	14.299	7.010
Chapadão Máquinas	OF/FCM - 001	75	2,0	14.299	14.019
Macanuda	FM - 02	200	1,0	7.150	2.629

* Consumo máximo estimado considerando motor a plena carga, eficiência 70% e produção de 500 kg/dia de farinha

Tabela 4-4: Referências de fornos de torração disponíveis no mercado nacional.

A Tabela 4-4 mostra fornos com nível máximo de produção entre 75 e 200 kg/hora de farinha. A potência dos motores varia entre 1,0 e 2,0 CV. O consumo de energia para uma produção de 500 kg/dia de farinha varia entre 2.629 Wh/dia e 14.019 Wh/dia. Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico podemos considerar dois fornos acionados por um motor de potência nominal de 1,0 CV, produzindo 200 kg de farinha por hora, em um dia de trabalho das 10 às 16 horas, durante 5 dias por semana. O consumo diário médio de energia estimado para cada forno é de 2.629 Wh/dia, para uma produção de 500 kg/dia de farinha, considerando 22 dias de trabalho por mês.

Peneira Vibratória

Equipamento para realizar o processo de peneiramento, acionado por motor elétrico. A partir da faixa de produção diária de farinha, estabelecida de até 500 kg/dia, foi feito o levantamento de algumas máquinas de referência disponíveis e consolidadas no mercado brasileiro, com qualidade e assistência técnica garantidas, apresentado na próxima Tabela.

Peneira Vibratória para Farinha de Mandioca - Monofásico 220V/60 Hz					
Marca	Modelo	Capacidade de Produção	Potência		Consumo de Energia Elétrica*
			Nominal	Surto	
		kg/h	CV	VA	Wh/dia
Santa Cruz	FEFERRO - 02	400	1/2	3.575	657
Chapadão Máquinas	-	300	1,0	7.150	1.752
Macanuda	PVM - 500	500	1,0	7.150	1.051

* Consumo máximo estimado considerando motor a plena carga, eficiência 70% e produção de 500 kg/dia de farinha

Tabela 4-5: Referências de peneira vibratória para farinha de mandioca disponíveis no mercado nacional.

A Tabela 4-5 mostra máquinas com nível máximo de produção entre 300 e 500 kg/hora. A potência dos motores varia entre 1/2 e 1,0 CV. O consumo de energia para uma produção de 500 kg/dia de farinha varia entre 657 Wh/dia e 1.752 Wh/dia.

Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico podemos utilizar uma peneira acionada por motor de potência nominal de 0,5 CV, peneirando 400 kg de farinha por hora. Se a farinha passar duas vezes pelo processo de peneiramento, a máquina consumirá o dobro da energia estimada na Tabela 4-5, operando por cerca de 2 horas e meia em um dia de trabalho das 10 às 16 horas, 5 dias por semana. Nesse caso, o consumo diário médio de energia é de 1.314 Wh/dia para uma produção de 500 kg/dia de farinha, considerando 22 dias de trabalho por mês.

Bomba de Água para Abastecimento de Reservatório

A bomba de água tem a finalidade de abastecer o reservatório do CCP para que haja água disponível para consumo, lavagem das raízes e higiene geral. Na especificação da bomba de água deve ser levado em conta o tipo de captação, as alturas manométricas, a quantidade de água necessária para os processos, entre outros. A Tabela 4-6 mostra alguns modelos de referência, disponíveis no mercado.

Motobomba para Água								
Marca	Modelo	Tipo	Tensão	Potência Elétrica	Vazão Máxima	Altura Manométrica Máxima	Consumo de Energia Máximo	
			V	W	l/dia		24 h/dia	4.000 l/dia
							Wh/dia	Wh/dia
Anauger	700	Cisterna	220	450	20.400	50	10.800	2.118
	800	Poço Tub	220	380	13.200	65	9.120	2.764
Ferrari	IDB-35 1/4	Superfície	220	180	4.800	28	4.320	3.600

Tabela 4-6: Modelos de motobombas para água disponíveis no mercado nacional.

A Tabela acima mostra algumas motobombas com capacidade de bombeamento entre 4.800 a 20.400 litros/dia para as alturas manométricas listadas. A potência elétrica nominal varia entre 180 W e 450 W. Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico, podemos considerar uma motobomba de 220 V, bombeando 4.000 l/dia de água, com potência nominal de 450 W e consumo diário médio de 2.118 Wh/dia, ou 46,6 kWh/mês, considerando 22 dias por mês.

Iluminação

A iluminação tem finalidade de melhorar a visibilidade para o processamento da mandioca, garantindo a qualidade e segurança nos processos produtivos, permitindo também a realização do trabalho noturno. Para o projeto específico do CCP, recomendamos o uso de lâmpadas e luminárias de alta eficiência, fluorescentes ou LED, como sugerido na Tabela 2-4 do Capítulo 2.

Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico podemos considerar, na área de produção, um conjunto de 10 lâmpadas fluorescentes de 16 W 220 V, ligadas 6 h/dia, com uma potência nominal total de 160 W e um consumo diário médio de 960 Wh/dia ou 21,1 kWh/mês, considerando 22 dias/mês de operação.

Equipamentos Diversos

Poderão ser disponibilizadas tomadas diversas de 220 V em corrente alternada para conexão de aparelhos e máquinas que forem posteriormente necessários no processo produtivo, de acordo com o projeto específico e evitando a sobrecarga nas tomadas. Podem ser ventiladores, balanças eletrônicas, ensacadoras, seladoras de embalagens, entre outros. Para atender as características dos CCPs alimentados com fontes alternativas, deverão ser utilizados equipamentos mais simples e práticos com baixo consumo de energia, ou mesmo manuais sem necessidade de alimentação elétrica. Para efeito de concepção e dimensionamento de um CCP típico podemos levar em conta os equipamentos e respectivos consumos descritos na Tabela 4-7.

Equipamentos Diversos para um CCP para Produção de Farinha de Mandioca				
Equipamento	Potência	Período de Operação	Consumo de Energia	
	W	h/dia	Wh/dia	kWh/mês
Ventilador (2)	200	6,0	1.200	26
Balança eletrônica	10	0,5	5	0
Seladora de embalagem	400	1,0	400	9
Outros	800	3,0	2.400	53
TOTAL	1.410	-	4.005	88

Tabela 4-7: Consumo de referência dos equipamentos diversos para o CCP.

Consumo de Energia Típico dos Equipamentos de Produção

A Tabela abaixo resume o consumo de referência dos equipamentos de produção para um CCP de até 500 kg de farinha de mandioca por dia. O consumo total de referência é de 638 kWh/mês.

Consumo de Energia Típico dos Equipamentos de Produção				
Equipamento	Capacidade/ Produção Máxima	Consumo de Energia		
		W	Wh/dia	kWh/mês
Lavador/Descascador	400 kg/h	1.577	6.569	144,5
Ralador/Triturador	400 kg/h	2.103	8.758	192,7
Prensa	150 kg/h	0	0	0,0
Forno torrador (2)	200 kg/h	2.103	5.257	115,7
Peneira vibratória	400 kg/h	526	1.314	28,9
Motobomba	850 l/h	450	2.118	46,6
Iluminação	10 x 16 W x 6 h/dia	160	960	21,1
Equipamentos diversos	-	1.410	4.005	88,1
TOTAL	-	8.329	28.981	638

Tabela 4-8: Consumo de referência dos equipamentos para o processo produtivo do CCP.

A curva de carga dos equipamentos de produção vai depender da rotina de trabalho dos produtores. A título de exemplo, podemos considerar o caso em que o trabalho é realizado de segunda-feira a sexta-feira, durante o dia, de maneira uniforme, no horário das 10 às 16 horas. Nesse caso de referência, a curva de carga para um dia de semana está apresentada na Figura 4-2. No final de semana o consumo é considerado nulo, sendo usado para recompor as baterias.

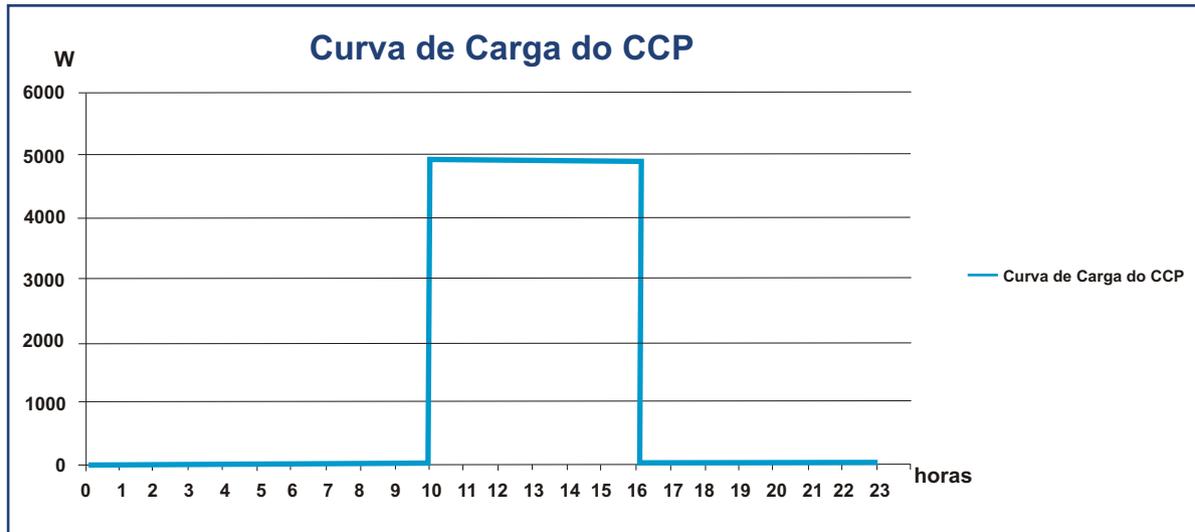


Figura 4-2: Curva de carga de referência do CCP para um dia útil de semana.

Dimensionamento da Unidade Produtiva

Com base nos equipamentos apresentados anteriormente, foram analisadas diversas alternativas de configuração básica para atender um CCP para beneficiamento de farinha de mandioca. É boa prática, sempre analisar diferentes alternativas nos projetos específicos de um CCP, em função das características locais do processo produtivo, dos recursos energéticos disponíveis e das características e preços dos equipamentos disponibilizados no mercado. Pela avaliação do recurso energético, um nível de produção de até 500 kg/dia de farinha de mandioca pode ser beneficiada somente com o emprego da fonte solar, considerando o mês mais crítico de radiação solar.

A Figura 4-3 apresenta o diagrama básico concebido para uma unidade modular de um CCP para beneficiamento de farinha de mandioca. O diagrama deverá ser adaptado e detalhado em função das condições operativas e das características dos equipamentos selecionados.

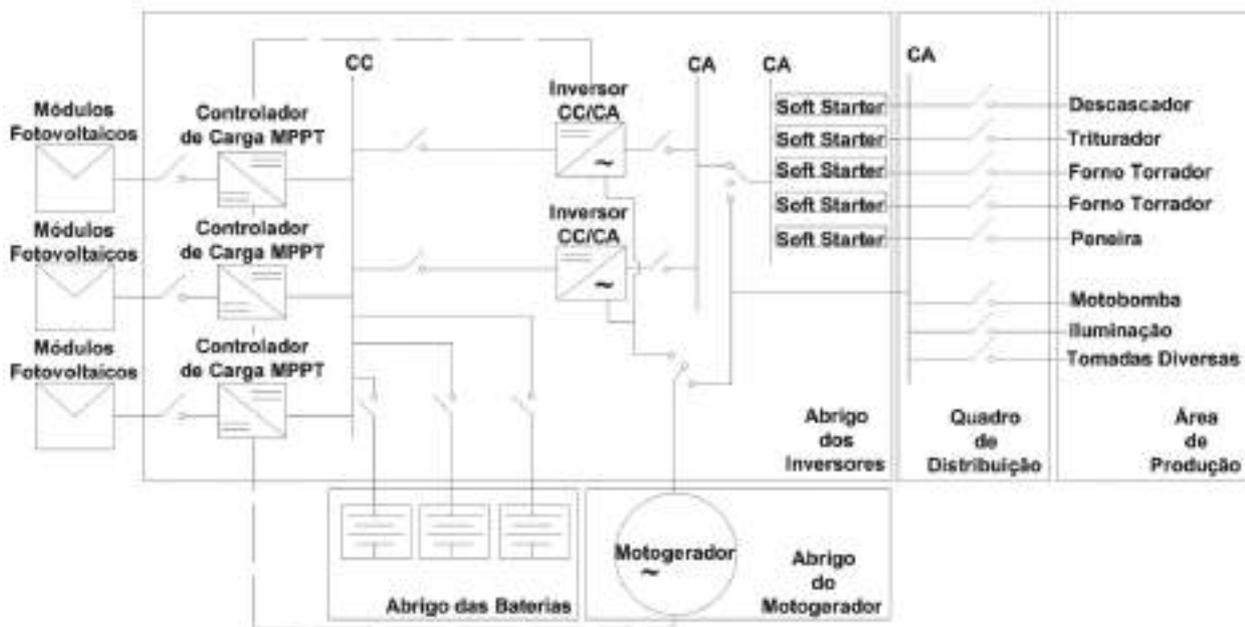


Figura 4-3: Diagrama básico de unidade modular para CCP de beneficiamento de farinha de mandioca.

A configuração básica para a área de produção prevê um lavador/descascador, um ralador/triturador, dois fornos, uma peneira vibratória, uma motobomba, lâmpadas para iluminação, além de equipamentos elétricos diversos necessários para o processo produtivo ou para utilização eventual pelos funcionários do CCP.

Com o objetivo de gerar a energia elétrica necessária ao acionamento dos equipamentos produtivos, foram previstos módulos fotovoltaicos, para a geração de eletricidade; baterias, para o armazenamento da energia gerada; controladores de carga MPPT; inversores de corrente

contínua, para corrente alternada; um moto gerador a diesel, para suprimento complementar de eletricidade; soft starters, para reduzir a corrente de partida dos motores elétricos. Os módulos, controladores, baterias e inversores foram divididos em dois conjuntos para propiciar maior segurança operacional. Caso haja necessidade de ampliação da capacidade de produção do CCP, poderão ser incluídos novos conjuntos de módulos fotovoltaicos, inversores, controlador de carga, banco de baterias no barramento de corrente contínua, reavaliando os demais equipamentos.

Dimensionamento dos Equipamentos da Unidade Modular

Características e Quantidade de Energia Demandada pelo CCP

A Tabela 4-8 mostra que o consumo de energia típico do CCP é de 638 kWh/mês, considerando as premissas e os equipamentos descritos anteriormente e um nível de produção de até 500 kg/dia de farinha de mandioca.

Para o dimensionamento de uma unidade modular de sistema de geração de energia elétrica de um CCP para beneficiamento de farinha de mandioca foram definidas como referências as seguintes premissas:

Consumo de referência: 720 kWh/mês (24 kWh/dia ou 720 kWh/mês);

Autonomia mínima para o banco de baterias: 2 dias.

Dimensionamento do Banco de Baterias

O dimensionamento para o banco de baterias segue as mesmas premissas adotadas para o dimensionamento do CCP descrito no Capítulo 2. Sendo assim, os seguintes valores foram adotados:

Tensão de trabalho de referência: 48 V

Tipo de Bateria de Referência: OPzS

A capacidade mínima do banco de baterias pode ser calculada pela fórmula¹⁸:

$$Capacidade (Wh) = \frac{Consumo_{CA} (Wh/dia) \cdot Autonomia (dias)}{\eta_{CC/CA} \cdot DOD_{Max} \cdot Capacidade_{EOL}}$$

Sendo:

Consumo_{CA} - Referência de consumo diário de energia elétrica em corrente alternada do CCP:
24 kWh/dia;

Autonomia - Autonomia do banco de baterias em períodos sem insolação: 2 dias;

¹⁸ Ministério de Minas e Energia (MME), "Especificações Técnicas dos Programas para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados no âmbito do Programa Luz para Todos", Outubro/2015.

$\eta_{CC/CA}$ - Considerado 0,75 (25% de perdas);

DOD_{Max} - Considerado 0,6 (60%);

$Capacidade_{EOL}$ - Considerado 0,9 (90%).

Capacidade mínima calculada para o banco de baterias: 118,5 kWh

Considerando a conveniência de padronizar os projetos dos sistemas de geração de eletricidade, podemos ter em conta:

Capacidade de referência do banco de baterias: 120 kWh (C100)

Como referência para os cálculos de dimensionamento e simulação de desempenho, podemos utilizar um banco de baterias composto por 3 séries de baterias OPzS, cada uma delas composta por 24 baterias de 2 V - 886 Ah (C10), conectadas em série, totalizando 72 baterias, 2.658 Ah/48 V (C10) ou 127,6 kWh (C10).

Tendo como referência a Tabela 1.2 do Capítulo 1, dois modelos de bateria atendem ao dimensionamento do banco de baterias com potência mínima de 886 Ah.

Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico

O dimensionamento do gerador fotovoltaico segue as mesmas premissas adotadas para o dimensionamento do CCP descrito no Capítulo 2.

Para o dimensionamento do gerador fotovoltaico é válida a seguinte expressão¹⁹:

$$\text{Potência mínima do gerador (Wp)} = \frac{\text{Consumo diário (Wh/dia)}}{\text{Radiação solar no plano de instalação (Wh/m}^2\text{/dia)} \times \text{PR}}$$

Sendo:

Consumo diário de energia do CCP: 24.000 Wh/dia

Radiação solar no plano de instalação no mês mais crítico: 4.000 Wh/m²/dia (4 kWh/m²/dia). Como efetuado no dimensionamento do CCP do Capítulo 2, consideramos o valor de 4 kWh/m²/dia como referência para o dimensionamento. A seleção do mês mais crítico implica que em todos os demais meses haverá maior disponibilidade de energia.

Performance Ratio (PR): 0,48. O PR foi calculado conforme a expressão a seguir:

$$\text{PR} = \eta_{FV} \cdot \eta_{con} \cdot \eta_{CC/CC} \cdot \eta_{IFR} \cdot \eta_{Tr} \quad \text{sendo } \eta_{CC/CC} = \eta_{Bat} (1 - F_{CD}) + F_{CD}$$

¹⁹ Ministério de Minas e Energia (MME). "Especificações Técnicas dos Programas para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados no âmbito do Programa Luz para Todos", Outubro/2015.

A definição dos termos da expressão acima é apresentada no item “Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico” do Capítulo 2.

Capacidade mínima calculada do gerador fotovoltaico: 12.377 Wp

Observando a conveniência de se padronizar os projetos dos sistemas de geração de eletricidade, podemos considerar:

Capacidade mínima calculada do gerador fotovoltaico: 12.446 Wp

Observando a conveniência de padronizar os projetos dos sistemas de geração de eletricidade, podemos considerar:

Capacidade nominal de referência do gerador fotovoltaico: 12.500 Wp

Como referência para os cálculos de dimensionamento e simulação de desempenho, podemos utilizar um arranjo de 12.690 Wp, composto por 54 módulos policristalinos de 235 Wp cada, divididos em 3 arranjos de 18 módulos, cada um deles composto por 6 módulos em série e 3 fileiras em paralelo.

Tendo como referência a Tabela 1-1 do Capítulo 1, apenas um modelo de painel fotovoltaico apresenta o valor de 235 Wp, sendo utilizado acima como referência para o dimensionamento do gerador fotovoltaico.

Dimensionamento do Controlador de Carga

O dimensionamento do controlador de carga segue as mesmas premissas adotadas para o dimensionamento do CCP descrito no Capítulo 2.

Tensão de trabalho das baterias: 48 V

Capacidade: Será considerada no dimensionamento a corrente de curto circuito dos módulos, acrescida de um fator mínimo de segurança igual a 10%.

Para o dimensionamento e simulação de desempenho do sistema de geração elétrica consideramos a utilização de 3 controladores de carga do tipo MPPT, com tensão de 48 V e corrente máxima de 60 A cada. Cada um desses controladores está dimensionado para trabalhar com um banco de baterias de 48 V e suportar, com segurança, a corrente de curto circuito de cada conjunto de 18 módulos. O valor da corrente de curto-circuito suportada pelo controlador de carga é dada pelo seguinte produto: $6 \times 8,19A = 49,1A$.

Tendo como referência a Tabela 1-3 do Capítulo 1, todos os modelos de controladores de carga do tipo MPPT, que suportam uma corrente com valor superior a 49,1 A, estão aptos ao uso no dimensionamento.

Dimensionamento do Inversor

O dimensionamento para o inversor segue as mesmas premissas adotadas para o dimensionamento do CCP descrito no Capítulo 2.

Cada inversor deve ter capacidade para trabalhar isoladamente, alimentando toda a carga, e também apresentar a capacidade de operar em conjunto ao motogerador a diesel.

Tensão de entrada adequada à tensão do banco de baterias: 48 V;

Tensão e frequência de saída adequada à tensão e frequência das cargas: 220 V, 60 Hz;

Forma de onda: senoidal pura;

Potência mínima de operação contínua: Referência 5.000 W (40° C) para um fator de demanda de 60% em relação à potência total a plena carga de todos os motores, mais as demais cargas levantadas de 8.329 W. Os motores não operam à plena carga, simultaneamente às demais cargas. O projetista deve avaliar o nível de carregamento dos motores, conforme os equipamentos adquiridos, para avaliar eventual necessidade de dividir as cargas entre os dois inversores;

Potência mínima de curta duração (3 s): Avaliar em função dos equipamentos previstos. Referência 12.000 VA. Como instrução operativa evitar a partida de mais de uma máquina simultaneamente.

Como exemplo para o dimensionamento e simulação do desempenho podemos utilizar 2 inversores de 48/220V e 5.000 W de potência nominal mínima. Cada um desses inversores está dimensionado para trabalhar isoladamente e suprir, com segurança, a corrente nominal e de partida das cargas. No caso de equipamentos com motores igual ou superior a 1,0 CV, considerar a instalação adicional de um *soft starter* em conjunto ao inversor.

Dimensionamento do Soft Starter

O dimensionamento do soft starter deve atender à tensão das cargas e ser compatível com a potência dos motores.

Tensão de operação: 220 V

Potência do motor elétrico: 3,0 kW

Para os motores elétricos de maior porte deve-se avaliar a utilização de um *soft starter* para cada motor.

Dimensionamento do Motogerador

O motogerador deve ser adequado à tensão de trabalho de 220 V, ter capacidade para alimentação das cargas, tanto em funcionamento contínuo quanto na partida dos motores, garantindo uma potência mínima em funcionamento contínuo igual a 5 kVA e de curta duração igual a 12 kVA, considerando o padrão de consumo das cargas descritas na Tabela 4-8.

Como exemplo para o dimensionamento e simulação do desempenho pode ser empregado o motogerador monofásico definido na Tabela 1-5 do Capítulo 1, com 220 V / 60Hz, capacidade nominal de 12 kVA e de curta duração de 12,5 kVA.

Configuração Básica da Unidade Produtiva

A Figura 4-4 mostra a configuração final do circuito elétrico do sistema de geração de eletricidade dimensionado para o atendimento das cargas do CCP, considerando uma capacidade de produção de até 500 kg de farinha de mandioca por dia.

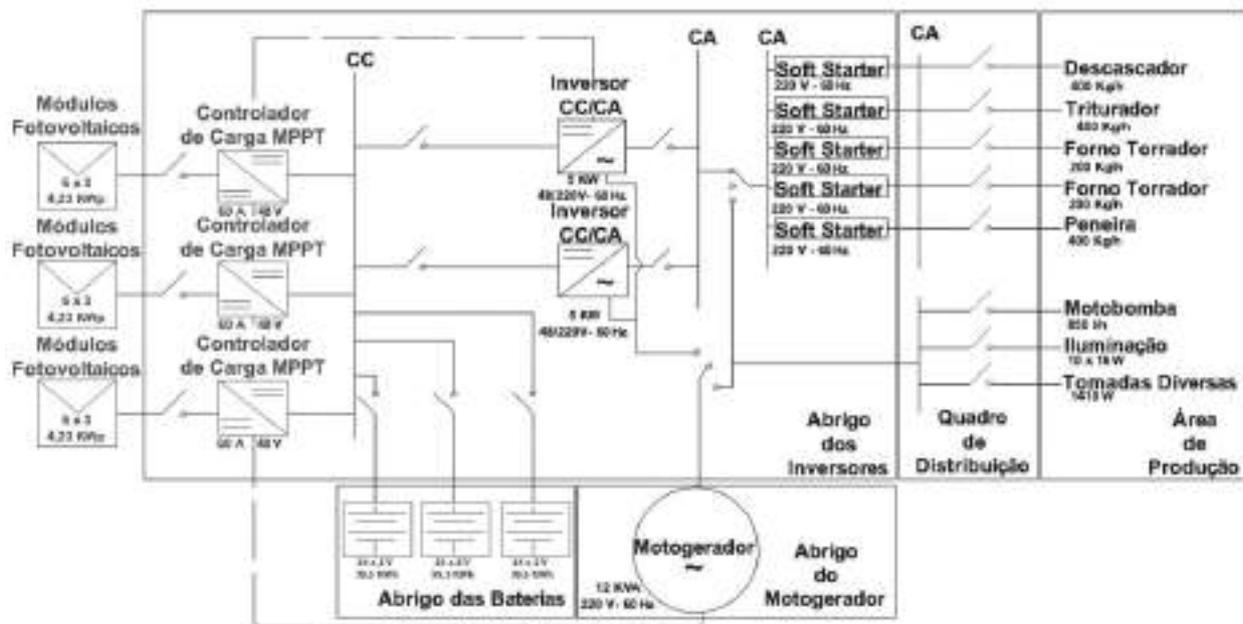


Figura 4-4: Diagrama do circuito elétrico de um CCP para processamento de farinha de mandioca.

Simulação do Desempenho do Sistema de Geração Dimensionado

A partir do sistema dimensionado, e com o uso do software específico para simulação da geração solar, foram realizadas simulações de desempenho do sistema de geração dimensionado no atendimento aos equipamentos de produção descritos na Tabela 4-8, considerando uma instalação na região de Manaus e um consumo de referência de 720 kWh/mês (24.000 Wh/dia). As simulações realizadas mostram que na região de Manaus o sistema de geração pode disponibilizar uma quantidade bem maior de energia durante todo o ano em relação ao mínimo proposto, visto que ele foi dimensionado levando em conta um local com nível médio de radiação solar no mês mais crítico de 4 kWh/m²/dia. Com adequadas rotinas operacionais poderá ser produzida maior quantidade de farinha de mandioca, que os 500 kg diários estabelecidos como referência.

A Tabela 4-9 mostra o desempenho do sistema dimensionado, considerando os consumos de energia de: 720 kWh/mês, 860 kWh/mês, 1.020 kWh/mês e 1.200 kWh/mês. No caso do CCP localizado na região de Manaus, observamos que não houve necessidade de acionar o motogerador para uma situação de consumo médio igual a 860 kWh/mês. Mesmo com um consumo diário de 1.020 kWh/mês, houve pouca necessidade de acionar o motogerador, uma vez que 99,6% da carga foi atendida pela fonte solar. Quando o consumo alcança 1.200 kWh/mês, o motogerador tem de suprir 6,8% da carga com um significativo consumo de óleo diesel.

Desempenho do Sistema de Geração Dimensionado					
Consumo de Eletricidade	Energia Solar			Fonte Energética	
	Disponibilizada	Utilizada	Não Utilizada	Solar	Diesel
kWh/mês	kWh/mês	kWh/mês	kWh/mês	%	%
720	1.369	720	582	100	0
860	1.349	860	427	100	0
1.020	1.305	1.016	238	99,6	0,4
1.200	1.245	1.120	87	93,2	6,8

Tabela 4-9: Simulação do desempenho do sistema de geração de eletricidade dimensionado.

Configuração Final da Unidade Produtiva

A Tabela 4-10 apresenta a configuração final dos equipamentos de um CCP para produção de até 500 kg/dia de farinha de mandioca, apresentando também uma estimativa de percentual de custo dos equipamentos e do serviço de instalação do sistema em relação ao valor total do projeto.

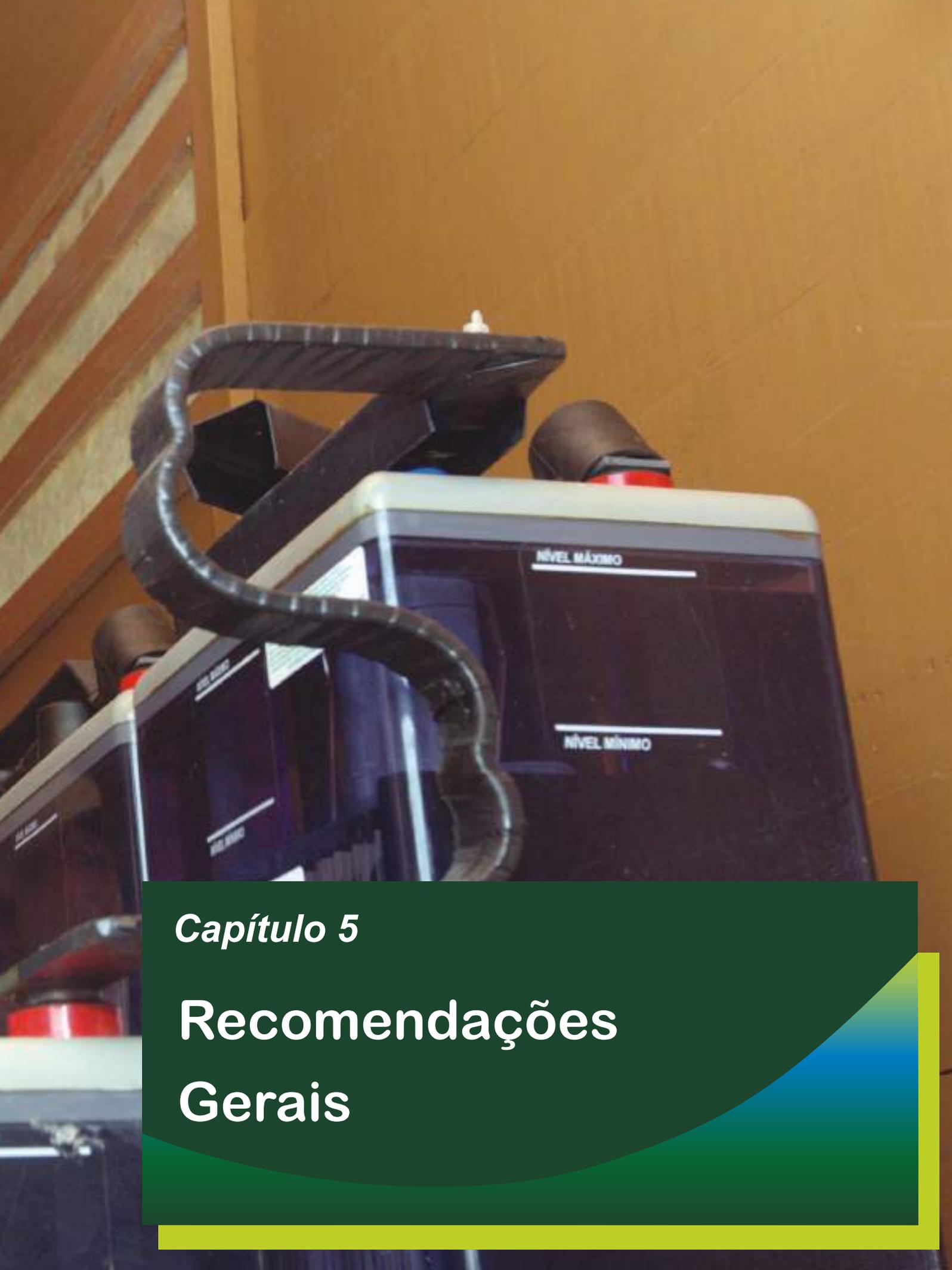
Pela Tabela 4-10 verificamos uma estimativa de 7,4 % de gastos como os equipamentos de produção, 58,8 % de gastos com equipamentos de geração e 33,8 % com gastos em serviços necessários para a implantação do projeto (obras civis, instalação e comissionamento). Observamos que a porcentagem de custos estimados mais significativa é a das baterias, o que reforça a recomendação de realizar oportunamente um estudo econômico específico comparativo entre as baterias OPzS e as convencionais de placas de chumbo-ácido. Os serviços também aparecem com percentual significativo, que variam muito em função das distâncias, da escala da contratação e de outros fatores inerentes ao projeto específico.

Estimativa de Custo de Aquisição e Instalação de um CCP para 500 kg/dia de Farinha de Mandioca		
Equipamentos de Produção	Capacidade	Custo Estimado
		%
Lavador/Descascador	400 kg/h	0,9
Ralador/Triturador	400 kg/h	0,5
Prensa	150 kg/h	0,6
Forno torrador (2)	200 kg/h	2,5
Peneira	400 kg/h	0,6
Bomba de Água	200 kg/h	0,1
Lâmpadas com reator	20.400 l/dia	0,1
Outros Equipamentos e Utensílios de Produção	10 x 16 W	2,1
Total		7,4
Equipamentos de Geração de Energia Elétrica	Capacidade	Custo Estimado
		%
Módulo Fotovoltaico	12.690 Wp	10,4
Baterias	118,5 kWh	32,8
Motogerador	12 kVA	2,6
Controladores de Carga	3 x 60 Ah/48 V	2,0
Inversores	2 x 5.000 W	6,7
<i>Soft Starter</i>	3,0 kW/220 V	0,8
Equipamentos de Proteção - Controle - Monitoramento		1,1
Materiais de Instalação		2,5
Total		58,8
Serviços	Capacidade	Custo Estimado
		%
Projeto, Engenharia e Administração		6,3
Obras Civis		12,7
Instalação e Comissionamento		14,8
Total		33,8
TOTAL GERAL		100,0

Tabela 4-10: Percentual de custos estimados para a instalação de um CCP para produção de 500 kg/dia de farinha de mandioca.



Interior da miniusina fotovoltaica - Sala do Banco de Baterias .
Ilha de Araras . Curralinho . PA
Crédito: Bruno Spada



Capítulo 5

Recomendações Gerais



NÍVEL MÁXIMO

ANATEL

Recomendações para Instalação, Operação e Manutenção

As recomendações descritas neste Capítulo se aplicam para as três configurações de CCPs abordadas neste trabalho, podendo ser estendidas para outras configurações de CCPs.

Logística de Projeto e Instalação do Sistema de Geração de Eletricidade

No projeto e na instalação do sistema de geração de eletricidade de um CCP, o projetista deve atentar aos pontos elencados, a seguir, de modo a prover as melhores práticas de engenharia.

Considerar a demanda básica dos produtores e a possibilidade de expansão da atividade produtiva, prevendo condições para a entrada de novos equipamentos que atendam ao aumento da demanda;

Procurar, sempre que conveniente, seguir a padronização de engenharia das unidades modulares e dos equipamentos dos sistemas MIGDI existentes, ou previstos, para facilitar os trabalhos de instalação, operação e manutenção;

Priorizar a facilidade de instalação, operação e manutenção dos equipamentos, analisando as distâncias envolvidas e as dificuldades de infraestrutura e de deslocamento do pessoal de manutenção. Sempre que conveniente automatizar os processos, buscando a simplicidade operativa e a facilidade de manutenção;

Especificar equipamentos certificados com assistência técnica garantida e com características apropriadas para o clima da região amazônica, que apresenta temperatura e nível de umidade elevadas;

Diante das dificuldades de aquisição e transporte do diesel em comunidades remotas, procurar que a fonte solar participe com a maior parte da energia disponibilizada para os equipamentos produtivos;

Priorizar equipamentos eficientes considerando as limitações da fonte solar, levando em conta o autoconsumo de inversores funcionando a vazio, potência do exaustor da sala de baterias, reatores de lâmpadas, entre outros;

Projetar o layout e as obras civis de forma a atender as normas existentes e a possibilidade de expansão;

Compatibilizar as potências dos equipamentos produtivos com as capacidades dos equipamentos utilizados para a geração de energia elétrica, considerando que eventuais alterações de equipamentos produtivos poderão ocorrer durante a vida útil do CCP;

Prever sistemas de monitoramento que possam ser acompanhados pelos produtores, para que possam adequar suas rotinas operativas às disponibilidades energéticas no período.

Instalação dos Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos deverão ser fixados em local livre de sombreamento, evitando locais em que o crescimento da vegetação ou em que outros obstáculos possam sombreá-los. Lembrar que o Sol varia sua posição ao longo do ano e que árvores próximas podem crescer e sombrear os módulos. Uma sombra sobre parte do módulo, além de provocar uma redução da quantidade de energia produzida, pode causar um ponto quente perigoso. Assim, todo tipo de sombra deve ser evitada.

A deposição de poeira e folhas também contribui para a queda de desempenho dos módulos. Deve-se evitar que os módulos sejam fixados em locais próximos de estradas de terra, com muito tráfego de veículos, ou de árvores. Outra fonte de sujeira sobre os módulos são as fezes de aves, principalmente daquelas que escolhem os módulos para pousar. Um dispositivo que impeça o pouso das aves deve ser instalado. Se o nível de sujeira nos módulos for elevado sugerimos que eles sejam lavados periodicamente, preferencialmente em momento sem insolação para não trincar o vidro.

No Hemisfério Sul, os módulos devem ser direcionados para o norte geográfico ou verdadeiro, que é ligeiramente diferente do norte magnético indicado pela bússola. Com esse direcionamento, os módulos fotovoltaicos conseguem captar mais energia solar durante o dia.

A inclinação das placas de captação da energia solar deve procurar maximizar a total energia produzida durante o período mais crítico do ano. Na maior parte do Brasil a maior inclinação dos módulos fotovoltaicos para o norte verdadeiro favorece a produção de energia nos meses de inverno (quando a trajetória aparente do Sol está voltada para o norte e mais baixa em relação ao zênite, e os dias são mais secos e claros), mas prejudica a produção de energia nos meses de verão (quando a trajetória aparente do Sol está mais próxima ao zênite e os dias são mais nublados e chuvosos). Por isso, o ângulo de inclinação dos módulos (para o norte no caso do Hemisfério Sul) em relação à horizontal é função da latitude, das características climáticas da região de instalação e também das características sazonais de consumo de energia elétrica ou calor. Não é recomendável instalar os módulos solares na horizontal, ou com uma inclinação inferior a 5°, considerando a necessidade de limpeza dos módulos e escoamento de água das chuvas, entre outros fatores que podem reduzir a eficiência de captação da radiação solar.

Tendo em vista que os módulos fotovoltaicos geram em corrente contínua e, em alguns casos, com correntes elétricas relativamente elevadas, que produzem grandes perdas Joule nos condutores, o comprimento dos cabos elétricos deve ser minimizado e utilizadas seções adequadas de forma a reduzir essas perdas elétricas. Assim, recomendamos instalar os módulos o mais próximo possível dos demais equipamentos do sistema de geração de eletricidade.

Os módulos deverão ser montados em suportes, normalmente de aço zincado à quente ou de alumínio, e instalados de forma a reduzir as possibilidades de acesso de estranhos e animais. Dentro do possível, devem ser minimizadas as possibilidades de roubos. Os suportes e acessórios deverão ser projetados para atender a longa vida útil dos módulos, com extremidades vedadas para impedir o acesso de animais e insetos, sem pontos para acúmulo de água, resistentes ao vento e com acesso que facilite a limpeza dos módulos.

Os módulos não devem ser instalados em nível muito baixo, para evitar o alcance de crianças e animais, e nem muito alto, que dificulte a limpeza. A moldura de fixação do módulo, bem como toda ferragem utilizada, incluindo parafusos, porcas e arruelas, deve ser de alumínio, aço zincado a quente ou aço inoxidável. O conjunto deverá resistir aos esforços de rajadas de vento, sem alteração da inclinação.

A moldura dos módulos, a estrutura e os postes metálicos deverão ser devidamente aterrados e as partes metálicas conectadas eletricamente ao aterramento, por cabo de cobre nu ou de aço zincado. Sugerimos instalar hastes de aterramento de cantoneira zincada para melhor desempenho do aterramento e prevenir contra descargas diretas ou próximas, deixando a conexão visível para inspeção. As carcaças dos equipamentos e das partes metálicas dos suportes deverão ser aterradas através dessa haste. As carcaças dos equipamentos acessórios também devem ser ligadas nesse ponto de terra comum. Normalmente, não se aterra o negativo do circuito de corrente contínua.

Manter os módulos nas caixas até o momento da instalação, evitando quedas e outras avarias. Os vidros, por exemplo, podem se quebrar facilmente, inutilizando o módulo. Cobrir o módulo durante a instalação ou tomar cuidados especiais para evitar risco de tensão elétrica em seus terminais. Não trabalhar com os módulos em situações com possibilidades de descargas atmosféricas.

Instalação dos Equipamentos do Sistema de Geração de Eletricidade

Os equipamentos do sistema de energia deverão ser instalados em abrigos próprios, com ventilação, separados da área de produção e fora do alcance de pessoas não autorizadas. As aberturas de ventilação deverão ser protegidas contra a entrada de insetos e poeira. A área e as dimensões dos abrigos dos equipamentos de geração de energia elétrica deverão ser adaptadas às dimensões dos equipamentos adquiridos, levando em conta as disposições das Figuras 5-1, 5-2 e 5-3, que ilustram os layouts dos CCPs para beneficiamento de pescado, polpa de fruta e farinha de mandioca, respectivamente. Infraestrutura adicional como banheiros, cozinha, secadores e depósito de casca de mandioca, lagoas de efluentes, captação e armazenamento de água, entre outros deverão ser previstos pelo projetista conforme as circunstâncias específicas de cada CCP.

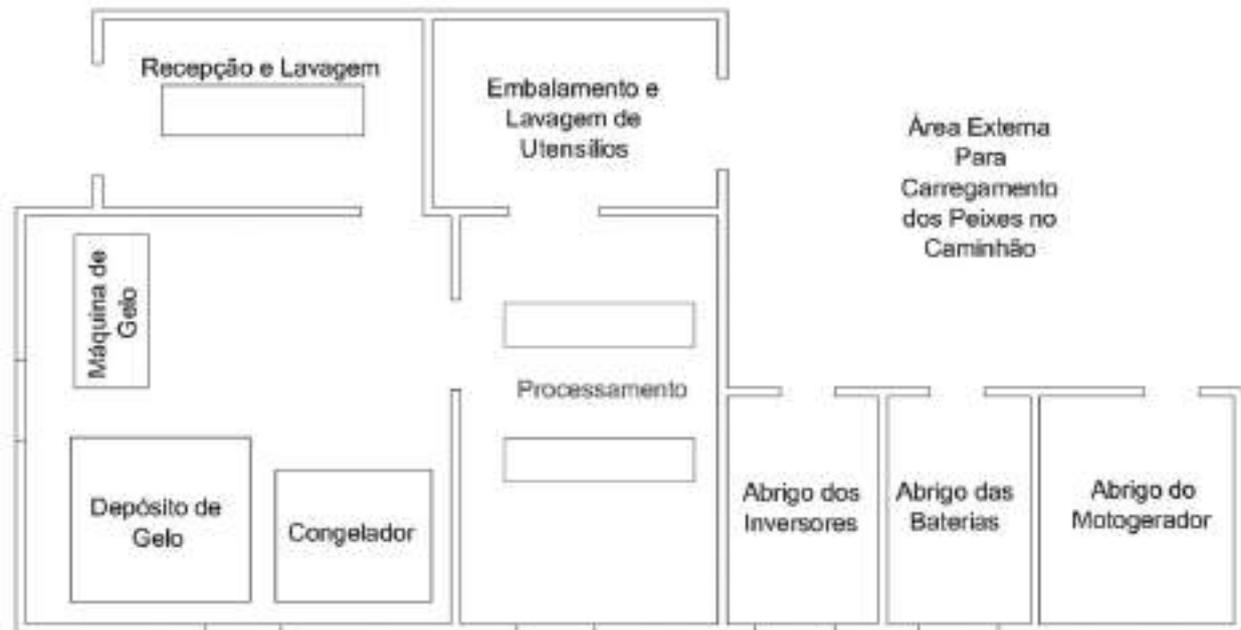


Figura 5-1: Layout de um CCP para beneficiamento de pescado com gelo.



Figura 5-2: Layout de um CCP para beneficiamento de polpa de fruta.



Figura 5-3: Layout de um CCP para beneficiamento de farinha de mandioca.

As baterias deverão ser instaladas em compartimentos apropriados (podem ser prateleiras de alvenaria) de acordo com a ligação especificada, com espaçamento mínimo de 2 cm entre elas, de forma que permitam a inspeção e manutenção. Devem estar dentro de um abrigo exclusivo, fechado para evitar o acesso de pessoas não autorizadas, em local abrigado, seco e fresco, bem arejado, o mais próximo possível do centro de carga e dos módulos fotovoltaicos. Os terminais e o eventual visor para observação do eletrólito deverão ser facilmente acessíveis para inspeção e as conexões elétricas devem ser protegidas com pasta antioxidante ou vaselina. Um exaustor deve ser previsto para eliminar os gases produzidos e para a ventilação do abrigo.

Os inversores, controladores de carga, soft starter e os quadros de controle e monitoramento deverão ser instalados em abrigo exclusivo, próximo ao abrigo das baterias, em local de fácil acesso e que não seja quente. Os inversores e controladores poderão ser fixados em painéis ou nas paredes, conforme as instruções dos fabricantes. Visto que o controlador de carga funciona como interface entre o sistema e o usuário, recomendamos instalá-lo em local de fácil visualização.

É recomendável utilizar fusíveis ou disjuntores magnéticos de baixa tensão, com baixo nível de perdas para proteção contra curto-circuito, e que estejam em local de fácil acesso para acionamento de emergência.

O motogerador deverá ser instalado em abrigo próprio e exclusivo, com proteção adequada para minimizar os ruídos.

Um quadro com os disjuntores de controle dos equipamentos produtivos pode ser instalado na área produtiva, para acionamento pelos próprios produtores.

Usar cabos elétricos com seção criteriosamente dimensionada de forma que a queda de tensão máxima permitida entre os painéis e as baterias, e entre estas e qualquer carga, seja baixa, de acordo com as normas, considerando a limitação da energia gerada e as altas correntes envolvidas.

Instalação dos Equipamentos do Processo Produtivo

Os equipamentos de produção deverão ser instalados em salas apropriadas, separados da área de energia, com projeto conforme o processo produtivo. Interruptores para os equipamentos deverão estar disponíveis para os produtores, sem necessidade de acesso à área de energia. O posicionamento e as características construtivas das edificações das instalações do sistema de geração e dos equipamentos de produção do CCP devem atender aos requisitos técnicos e às legislações ambientais, sanitárias e de segurança. O layout, a área e as dimensões das salas deverão ser adaptados às exigências logísticas e sanitárias do processo produtivo do CCP.

Abaixo estão elencados alguns aspectos importantes que devem ser levados em conta pelo projetista do CCP, independente do produto beneficiado na unidade produtiva:

Iluminação

As luminárias, para lâmpadas fluorescentes, deverão ser instaladas em posições que permitam a melhor distribuição de luz nos diversos ambientes, fixadas em altura que permita maior eficiência. Sugerimos luminárias de alta eficiência, revestidas internamente com material refletor e pintura externa, para fixação em laje ou suporte de telhado. Recomendamos utilizar lâmpadas fluorescentes tubulares, com cores e diâmetros mais eficientes, utilizando preferencialmente lâmpadas mais finas, que são mais eficientes. Também podem ser usadas lâmpadas fluorescentes compactas ou LED, mas essas são mais difíceis de serem encontradas em regiões remotas em caso de necessidade de troca

Higiene

Evitar proximidade do CCP com criadouros de animais domésticos para prevenir o surgimento de moscas. Separar a área limpa, onde o produto é beneficiado, da área suja de lavagem e recebimento do produto. Evitar a entrada de animais. Os pisos e paredes devem ser em material liso e adequado para a limpeza. Colocar telas nas janelas e portas. Separar os sanitários das áreas de produção. Instalar uma pia na área de produção para higienização das mãos.

Ventilação

Prever pé direito alto para facilitar a ventilação, com forro isolante para reduzir o calor do Sol. No caso do CCP para produção da farinha de mandioca, uma chaminé deve ser instalada para saída do ar de combustão da fornalha.

Cuidados Ambientais

Obedecer às normativas ambientais e sanitárias da legislação brasileira (ANVISA, CONAMA, outras). Dar destino adequado aos resíduos do processamento da matéria-prima e da água empregada no processo produtivo. Escoar os efluentes para lagoas de tratamento e não lançá-los diretamente ao solo ou nos rios. No caso do CCP para produção de farinha de mandioca, a madeira utilizada para a fomalha deve ser proveniente de fontes legais.

Segurança

Analisar as máquinas e rotinas operativas para que atendam às normas ergonômicas. Instruir os operadores para o uso de equipamentos de proteção individual (EPI). Prever sistema de proteção para parada automática das máquinas utilizadas no processo produtivo.

Recomendações para Operação e Manutenção

Defeitos diversos podem ocorrer nos controladores de carga, nos inversores, no motogerador, no *soft starter*, nas conexões, nos equipamentos de controle e proteção e também nos equipamentos de produção. A manutenção dos sistemas consiste, principalmente, na limpeza periódica dos módulos, na inspeção dos equipamentos e na verificação do eletrólito das baterias.

É fator fundamental formar uma estrutura de manutenção que permita o funcionamento confiável dos sistemas após a instalação. Geralmente, os sistemas estão em locais remotos de difícil acesso, em comunidades que não dispõem de pessoas com conhecimento e qualificação para realizar a manutenção.

A sujeira acumulada sobre o vidro reduz o rendimento do módulo e produz efeitos similares às sombras, principalmente quando a sujeira está concentrada em uma área específica. A gravidade do problema depende da opacidade do resíduo. Somente a poeira não é muito perigosa, pois a chuva é suficiente para limpá-la. Se o problema de fezes das aves for muito grave, uma pequena antena elástica pode ser instalada na parte superior dos módulos, impedindo que elas pousem.

No caso de uso de baterias do tipo OPzS é preciso verificar as instruções do fabricante para manutenção. Normalmente, exige-se uma adição de água periódica para completar o nível do eletrólito.

Recomendações para Treinamento

Os trabalhos de montagem e manutenção dos equipamentos devem ser conduzidos por pessoal treinado. Recomendamos um curso específico para o pessoal envolvido, incluindo a capacitação dos produtores usuários dos CCPs, permitindo a operação segura e eficiente do sistema de geração e dos equipamentos de produção. O treinamento deve englobar orientações básicas sobre os princípios de eficiência energética aplicada ao processo produtivo e a necessidade de adequação da produção ao nível de insolação, apresentando estratégias para manutenção da produção nos períodos críticos, seja pela produção mais elevada do CCP e/ou condições ambientais adversas.



Módulos fotovoltaicos de miniusina . Ilha de Araras . Curralinho . PA
Crédito: Bruno Spada



Anexo



Anexo I

Dados de Radiação Solar

Tabela de radiação solar média em algumas cidades do Amazonas para um plano de inclinação dos módulos fotovoltaicos igual à latitude do local (kWh/m²/dia).

Fonte SWERA

Mês	Manaus	Tefé	São Gabriel da Cachoeira	Lábrea	Codojás
Janeiro	4,3	4,8	4,9	4,6	4,8
Fevereiro	4,5	4,9	4,7	4,5	4,7
Março	4,9	5,1	5,4	4,8	4,8
Abril	4,9	5,5	4,9	5,1	5,3
Maiο	5,0	5,1	4,9	5,1	4,9
Junho	4,5	5,2	3,9	4,8	4,9
Julho	5,0	4,4	4,7	5,0	5,0
Agosto	5,6	5,9	5,3	5,7	5,5
Setembro	5,7	5,8	5,6	5,9	5,8
Outubro	5,5	6,0	5,7	5,9	5,5
Novembro	5,5	6,0	5,7	5,9	5,5
Dezembro	4,8	5,3	5,0	5,2	4,6
Média Anual	5,0	5,2	5,1	5,1	5,1



Eletrobras

Com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento socioeconômico de comunidades localizadas em regiões remotas do nosso país, este Guia para a Elaboração de Projetos apresenta estudos realizados para a implantação de Centros Comunitários de Produção (CCPs) com aplicação do sistema solar de geração de energia elétrica. Os estudos focaram a implantação de três modalidades de CCPs para: Pescado Fresco, Polpas de Frutas e Farinha de Mandioca; respeitando as particularidades das comunidades remotas.

**Energia Solar Aplicada aos
Centros Comunitários de Produção**

GUIA PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETOS

ISBN 978-85-87083-55-5

**Centrais Elétricas Brasileiras
- Eletrobras -**