

ÍNDICES DE PRODUTIVIDADE NA MONTAGEM DE USINAS FOTOVOLTAICAS NO BRASIL. ESTUDO DE CASO - USINA SOLAR FOTOVOLTAICA SÃO LOURENÇO DA MATA

Elielza Moura de Souza Barbosa - elimsb@hotmail.com.br
Francisco Buelvas Uribe - francisco.uribe@ufpe.br
Universidade Federal de Pernambuco- Departamento de Energia Nuclear
Thiago Moreira Figueiredo - thiagomf@odebrecht.com
Odebrecht Energia
Daniel Sarmiento de Freitas - daniel.freitas@celpe.com.br
Ana Christina Mascarenhas - acmascarenhas@neoenergia.com
Grupo Neoenergia
Olga de Castro Vilela - ocv@ufpe.br
Chigueru Tiba - tiba@ufpe.br
Universidade Federal de Pernambuco- Departamento de Energia Nuclear

Resumo. As primeiras centrais fotovoltaicas, decorrentes da Chamada Pública ANELL13/2011, Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira” iniciam a fase de operação e promovem a oportunidade do conhecimento sobre a dinâmica de instalação e montagem de usinas fotovoltaicas e a composição dos custos reais para geração fotovoltaica no Brasil. A grande maioria das análises de custo, realizadas até então, consideram como custos de instalação valores transportados, muitas vezes, de países com realidades completamente diferentes das encontradas no Brasil, muito particularmente quando se refere à mão de obra para montagem e instalação do campo de módulos fotovoltaicos. Nesse sentido, as unidades que vêm sendo instaladas proporcionam, além da possibilidade de formação de recursos humanos, uma fonte de dados mais reais que podem ser utilizados para subsidiar estudos de viabilidade técnica- econômica de futuros empreendimentos. O presente trabalho apresenta uma metodologia para estimar índices de produtividade vinculados às atividades de montagem e instalação de usinas solares no Brasil, baseados na vivência durante a instalação da Usina Fotovoltaica São Lourenço da Mata (1 MW_p), comumente conhecida como Usina Solar Arena PE (USF Arena PE). Para cada atividade foi gerado um índice, Homem.hora (H.h) que expressa o ritmo da produtividade no processo de montagem e instalação. Por exemplo, a evolução na montagem de um total de 3693 módulos mostra que nos primeiros dias a taxa de montagem era de 16 unidades e a taxa média foi de 204 unidades/dia, com picos da ordem de 390 unidades/ dia. Esses dados podem ser traduzidos num índice de produtividade de 0,739 H.h/módulo montado. Evidentemente, que os dados apresentados não são conclusivos. Representam dados provenientes da instalação de uma única usina FV. Com a finalização dos demais projetos em andamento os índices poderão ser consolidados. Salienta-se a importância na divulgação desse tipo de informação e de dados sobre as diversas fases dos P&D para que se possa ter uma base de informações que fortaleça o desenvolvimento da geração fotovoltaica no Brasil.

Palavras-chave: Usina solar Arena PE, Índices de produtividade na montagem de plantas fotovoltaicas, Custos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Brasil.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil vem se apresentando como um dos mercados da América do Sul mais promissores para a geração de energia solar fotovoltaica. A potencialidade do mercado é função de um conjunto de fatores técnicos, econômicos e políticos que vão desde a disponibilidade do recurso, maturidade do mercado fotovoltaico, taxas da tarifa de eletricidade à eficácia das políticas instituídas. No Brasil, tanto o recurso solar como a tarifa de energia apresentam-se com um dos mais altos níveis e a combinação de vários fatores poderá resultar favorável à implantação de grandes centrais solares a curto e médio prazo. Particularmente, para o Nordeste, haja vista a primazia com a primeira central fotovoltaica de 1 MW_p no Ceará, a Usina de Tauá. Além de ser um tradicional celeiro de grupos de pesquisas e formação de recursos humanos em energias renováveis. Mais especificamente, o Estado de Pernambuco que além dos 4 MW_p provenientes de P&D, (Neoenergia com 1 MW_p e Chesf com 3 MW_p), o mercado já aponta para a instalação de cerca de 122 MW nos próximos dois anos, com um custo médio de 228,63 R\$/MWh e módulos fotovoltaicos na faixa de 4 a 5 R\$/kW_p (JC-Leilão PE Sustentável, 2013).

As primeiras centrais fotovoltaicas, decorrentes da Chamada Pública ANELL13/2011, Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira

(ANNEE, 2011) iniciam a fase de operação e promovem a oportunidade do conhecimento sobre a dinâmica de instalação e montagem de usinas fotovoltaicas e a composição dos custos reais para geração fotovoltaica no Brasil.

A grande maioria das análises de custo do kW_{pico} instalado (kW_{pinst}), realizadas até então, consideram como custos de instalação valores transportados, muitas vezes, de países com realidades completamente diferentes das encontradas no Brasil, muito particularmente quando se refere à mão de obra para montagem e instalação do campo de módulos fotovoltaicos. Nesse sentido, as unidades que vêm sendo instaladas proporcionam além da possibilidade de formação de recursos humanos uma fonte de dados mais reais que podem ser utilizados para subsidiar estudos de viabilidade técnica- econômicas de futuros empreendimentos.

O presente trabalho apresenta uma metodologia para estimar índices de produtividade vinculados às atividades de montagem e instalação de usinas solares no Brasil, baseados na vivência durante a instalação da Usina Fotovoltaica São Lourenço da Mata de 1 MW_p, também comumente conhecida como Usina Solar Arena-PE (USF Arena PE).

Para cada atividade foi gerado um índice, Homem.hora (H.h) que expressa o ritmo da produtividade no processo de montagem e instalação. Evidentemente, que os dados apresentados não são conclusivos. Representam dados provenientes da instalação de uma única usina FV. Com a finalização dos demais projetos em andamento os índices poderão ser consolidados.

2. A USINA SOLAR FOTOVOLTAICA SÃO LOURENÇO DA MATA

A Usina Solar Fotovoltaica São Lourenço da Mata, também conhecida como Usina Solar Arena-PE. (USF Arena PE), é um dos produtos do P&D do Grupo Neoenergia (Coelba, Celpe e Cosern), relativo à Chamada 13 ANEEL/2011. Com capacidade de 1 MW_p e geração prevista de 1.500 MWh/ano de eletricidade importou em um investimento conjunto do Grupo Neoenergia e da Odebrecht de R\$ 10 milhões. Os objetivos, consonantes com o Edital ANEEL/Chamada13, visa fornecer energia ao estádio Arena Pernambuco como inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira, a formação de recursos humanos e desenvolvimento estudos e de equipamentos relativos a cadeia produtiva fotovoltaica com o envolvimento de universidades e centros de estudo.

A USF Arena PE encontra-se localizada nas coordenadas 08°02'35''S e 35°00'09''W, nas vizinhanças do estádio Arena PE, na região metropolitana de Recife. É composta por dois campos. O campo com 0,95 MW_p composto por 3652 módulos de Silício mono cristalino (Si-m; 265Wp), cuja energia produzida destina-se comercialmente à Arena PE, e o campo tecnológico, que visa a pesquisa e formação de recursos humanos, composto por 5 sistemas de 10 kW_p com 5 tecnologias de fotovoltaicos. As tecnologias utilizadas são: 48 módulos de (Si-m; 265Wp) do mesmo tipo e fabricante da tecnologia do campo comercial, 47 módulos de (Si-m; 240Wp) produzidos no Brasil, 48 módulos de Silício policristalino (Si-p; 245Wp) e 79 de filme-fino rígido de Silício amorfo (Si-a; 142Wp) e 89 módulos de Disseleneto de Cobre Índio-Gálio (CIGS;120Wp). Totalmente instalada em solo em dois platôs, os arranjos fotovoltaicos com 10° de inclinação são montados em estrutura de alumínio e aço em solo, ocupando uma área total de cerca de 15 mil m². A Fig. 1 mostra uma vista da Usina Solar Arena-PE.



Figura 1- Vista da Usina Solar Fotovoltaica São Lourenço da Mata (Usina Solar Arena-PE; 1 MW_p)

3. MARCOS SOBRE CUSTOS DE USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Um dos fatores de maior relevância para a inserção na matriz energética brasileira de fontes renováveis de energia, como a energia solar, é sem dúvida o fator econômico diretamente relacionado com o custo final da energia gerada (R\$/kWh). Nesse custo, encontram-se embutidos: custos de investimento, como os relacionados com equipamentos e bens imóveis; custos de engenharia relativos aos projetos, normas, licenciamentos e credenciamentos, por exemplo;

custos com materiais e serviços, como estruturas de suporte, locação e transporte e o custo de mão de obra envolvida ao longo do processo de instalação e montagem do campo de coletores.

Segundo dados da literatura especializada, o serviço de montagem e instalação de sistemas, com capacidade acima ou igual a 1MWp situa-se na faixa de 10 a 15% do custo total, o investimento em cerca de 50 a 60% , e o complemento correspondente aos demais itens, como matérias e estruturas, por exemplo. (NEREL, 2011; MME-EPE, 2012).

O custo de investimento é praticamente regulado pelo mercado internacional. No entanto, o custo referente à mão de obra de montagem e instalação de usinas fotovoltaicas no Brasil não obedece ao mercado internacional. Os valores referentes em várias licitações de projetos vinculados à Chamada ANEEL nº 13/2011, (ANEEL, 2011), apresentam variações muito expressivas a respeito desse custo, sinalizando uma realidade: o desconhecimento do valor da mão de obra no mercado nacional. Simplesmente, por não se ter ainda uma experiência acumulada e uma massa significativa de informações provenientes de usinas concluídas.

Considerando o universo de usinas, dentro do P&D em pauta, já licitadas, em fase de montagem ou já em funcionamento, o custo total vencedor tem se situado na faixa de 5 a 13 R\$/W_{pinst} em função do tipo de tecnologia do módulo fotovoltaico e da montagem em solo ou teto. Esses valores são compatíveis com os citados na literatura, de 2,38\$/W_{pinst} (MME/EPE, 2012) e 3,80 \$/W_{pinst} (Goodrich, 2011). No entanto, durante os processos de licitação as variações de custos entre as propostas têm sido enormes. Propostas para usinas de capacidade de potencia e tecnologia semelhantes apresentam, em relação ao custo total, variações extremamente expressivas na faixa de 40 a 50%. Observa-se que a maior variação ocorre no setor de serviços com oscilações na faixa de 250%.

Comercialmente é muito importante manter um controle rigoroso da produtividade no processo de montagem e instalação e os resultados obtidos durante a instalação da USF Arena-PE sinaliza curvas de aprendizagem entre o desenvolvimento das atividades e o tempo necessário para desenvolvê-las.

4. METODOLOGIA

Para fins de elaboração de orçamentos e análise de propostas, o mercado, convencionalmente, utiliza a unidade Homem hora por Quantidade (H.h/QTD). Portanto, o objetivo é determinar qual o esforço de Mão de Obra (MO) necessária para executar uma determinada atividade de quantidade 'n' estabelecida em projeto. Assim, o produto desse índice por um valor calculado de H.h de MO (com todos os custos embutidos), representa o custo real para execução da atividade.

Para a aplicação da metodologia proposta, o processo de implantação de usinas solares foi esquematizado em seis grandes etapas. As etapas envolvem diferentes atividades cujas realizações resultam em um ou mais produtos.

Etapa I: Planejamento. Inicia-se com a concepção do projeto. Nessa etapa estão envolvidas atividades inerentes a avaliações prévias: da localização, do recurso solar disponível, da viabilidade técnica-econômica, da capacidade de potencia em função da quantidade de energia a ser gerada. Normalmente, o Projeto Conceitual evolui para um Projeto Básico onde é delineado o esboço técnico do sistema com requisitos mínimos que devem ser observados. Como produtos expressivos, dessa etapa, destacam-se o Projeto Conceitual e/ou o Projeto Básico da usina.

Etapa II: Projetos técnicos e executivos. Tendo como base os critérios estabelecidos no projeto básico é elaborado o detalhamento técnico envolvendo todos os componentes que compõem a planta, desde as especificações técnicas de equipamentos até o detalhamento construtivo e de instalação. Projetos técnicos detalhados e cronogramas técnicos e executivos se salientam como produtos principais dessa etapa.

Etapa III: Licenciamentos, contratos e normatização. As atividades envolvidas podem ser realizadas em diversos momentos e permeiam todo o cronograma executivo. São atividades relacionadas a processos de licitação, de licenciamentos e de registros. A grande maioria semelhante aos processos habituais, exigidos em empreendimentos para geração de eletricidade, tais como, licenciamentos ambientais e de ocupação do solo, permissões de conexão à rede elétrica de distribuição e demais requerimentos para dar início às atividades de construção de obras civis e instalação de equipamentos geradores de energia. Nessa etapa, também se inserem diversos contratos de serviços para a realização das atividades previstas nos projetos técnicos e executivos. A catalogação das normas técnicas aplicáveis ao setor de geração de energia e mais especificamente à geração solar fotovoltaica e de suma importância.

Etapa IV: Aquisições. Congrega todas as atividades de aquisições e de construção de peças e acessórios fora do canteiro de obras da usina.

Etapa V: Instalação e montagem. Reuni as atividades executadas no canteiro de obras, tais como obras civis, mecânicas e eletro-eletrônicas, montagem e instalação dos equipamentos até o pré-comissionamento de todos os subsistemas que compõem uma usina solar fotovoltaica, inclusive os subsistemas de monitoramento operacional e das condições climáticas e medições meteorológica.

Etapa VI: Comissionamento e qualificação. Envolve as atividades inerentes ao comissionamento final, com a ordem de início de operação (start-up) em regime permanente e comercial da usina como unidade geradora de energia. Envolve todas as atividades inerentes a verificação dos procedimentos operacionais, qualificação do sistema e caracterização da produção de energia, os quais devem ser atendidos satisfatoriamente.

Nas etapas de planejamento, licitação e licenciamento, a maior parte dos custos envolvidos encontra-se relacionado com atividades indiretas à atividade comercial da usina (gerar energia elétrica). Na etapa de operação da usina, os custos envolvidos encontram-se focados objetivando manter a produção de energia, para a qual não é requerida mão de obra direta expressiva.

O presente trabalho tem como foco de estudo as atividades inerentes a Etapa V. Nessa etapa, encontra-se a maioria dos custos relacionados com a intervenção direta de materiais, equipamentos e mão de obra. Estimar a quantidade de tempo necessária para que esses materiais e equipamentos sejam transformados numa unidade geradora de energia, é um componente vital comercialmente, já que permite estabelecer os tempos e recursos necessários, fazer projeções, estimativas e estabelecer uma dimensão temporal para o retorno dos investimentos. As informações baseadas no planejamento de custos correntes (MO) podem auxiliar os processos de tomada de decisões em participação de processos licitatórios e no estabelecimento de cronogramas mais factíveis.

Os procedimentos metodológicos utilizados para estimar a quantidade de (H.h) para a instalação de uma usina solar fotovoltaica com características similares à USF Arena-PE, foram esquematizados nos seguintes passos:

1. Coleta de dados.
2. Processamento e análise dos dados
3. Resultados obtidos

Na coleta de dados, foram utilizadas as informações presentes nos Relatórios Diários de Obra (RDO), documentos onde são registrados os avanços no decorrer da instalação, permitindo, desta forma, se ter uma relação das atividades realizadas dia a dia e as pessoas envolvidas nessas atividades, junto com uma dimensão espaço-temporal das mesmas.

No processamento e análise, foram traduzidos os dados presentes nas RDO em informações numéricas, estabelecendo as principais tarefas desenvolvidas, a quantidade de recursos humanos que foram empregados para a realização dessas atividades permitindo estimar o tempo no decorrer da instalação efetuado por cada operário. Essas informações são de vital importância, dentro do mercado fotovoltaico no Brasil hoje, devido a que a difusão das centrais solares e os investimentos no setor encontram-se avançando a passos pequenos e as informações nesses aspectos são escassas.

Na estimação de resultados é apresentado um conjunto de informações que permite visualizar a produtividade no processo de instalação da usina, os tempos em cada uma das atividades. Os índices (H.h) obtidos podem ser transformados em índices em termos de custos e projeções comerciais desde que se tenha conhecimento do custo da Mão de Obra do Homem hora (MO do H.h). Esse dado, geralmente é um dado privado, não facilmente divulgado pelas empresas. Mas, cada interessada poderá utilizar seus próprios valores e assim auxiliar decisões em futuros empreendimentos.

4.1 Coleta de dados

Como foi mencionada anteriormente, a matéria prima utilizada para a realização dessa análise encontra-se consolidada nos arquivos RDO facilitados pela gerência de projetos da Odebrecht Energias Alternativas (OEA), órgão encarregado da supervisão ao longo do processo de montagem da USF Arena-PE.

Nesses arquivos, encontram-se condensadas as atividades realizadas dia a dia, as pessoas envolvidas por cada uma dessas tarefas, as dificuldades e imprevistos ocorridos ao longo de cada dia de trabalho e um registro fotográfico detalhado. Um exemplo desse tipo de relatório pode ser visualizado na Fig. 2.

Foram disponibilizados um total de 102 RDO correspondentes às atividades de adequação, montagem e pre-comissionamento da usina durante o período compreendido entre fevereiro e agosto de 2013. Da leitura e interpretação de cada relatório disponibilizado, foi possível obter as informações correspondentes.

4.2 Processamento e análise das informações

Tendo em conta as informações detalhadas em cada RDO, o passo inicial, para fazer o controle de produtividade, foi definir as principais tarefas dentro de um fluxo lógico procurando diferenciar as atividades sequencialmente acionadas a cada equipe de operários, os quais foram contratados por diferentes empresas especializadas pela firma vencedora da licitação e responsável pela instalação da USF Arena-PE. As tarefas definidas podem ser apreciadas na Fig. 3.

Definidas as tarefas, foi estabelecido o número de horas diárias de trabalho para os operários ao longo dos dias da semana. O regime de trabalho estabelecido corresponde de segunda a quinta-feira com 9 horas por dia, incluindo a hora

do almoço. Entre os dias sexta-feira e domingo a jornada laboral é de 8 horas incluindo também o horário para o almoço.

RELATÓRIO DIÁRIO DE OBRA

Construção da USF – Arena Pernambuco
 Contratante: CELPE / COELBA / COSERN / OEA
 Contrato Nº: 4600026241
 Data de Início Contratual: 10/01/2013 Data de Término Contratual: 18/07/2013

Dias decorridos: 230
 Dias restantes (Replanejamento): 30/08: 02

Data: 28/08/2013 RDO Nº: 102/2013

Início da Jornada de Trabalho: 07:00h	Término da Jornada de Trabalho: 17:00h
---------------------------------------	----------------------------------------

Efetivo de trabalho por empresa:

Empresa	Quantidade de Recursos
GESB	01 Gerente de Projeto
GESB	01 Engenheiro Eletricista
GESB / Multitendimentos	01 Supervisor de Obra
P&B Serviços	02 Encarregados
P&B Serviços	08 Auxiliares de Campo
Enserv Engenharia	02 Coordenadores de Obra
Enserv Engenharia	02 Técnicos Eletrotécnicos
Enserv Engenharia	01 Técnico em Segurança do Trabalho
Enserv Engenharia	01 Auxiliar Administrativo
Enserv Engenharia	01 Auxiliar de Suprimentos
Enserv Engenharia	03 Encarregados
Enserv Engenharia	09 Eletricistas
Enserv Engenharia	20 Auxiliares de Campo
Ingeteam	02 Engenheiros
Traco Construções / Betel Construções	01 Encarregado
Traco Construções / Betel Construções	02 Auxiliares de Campo
TOTAL	57

Descrição das Atividades:

- Andamento da obra – Atividades realizadas:
 1. Módulos Fotovoltaicos:
 - o Montagem das estruturas suporte e dos strings box no platô alto (ATIVIDADE CONCLUÍDA).
 2. Estruturas Metálicas:
 - o Execução do aterramento das estruturas metálicas.
 3. Instalações Elétricas em Baixa Tensão:
 - o "Tagueamento", execução de emendas e conexão dos cabos dos módulos (séries e strings);
 - o Conexão dos cabos de aterramento e de comunicação aos strings box;
 - o Aplicação dos conectores e conexão dos cabos de 6mm² e 95mm² aos strings box;

RELATÓRIO DIÁRIO DE OBRA

Construção da USF – Arena Pernambuco
 Contratante: CELPE / COELBA / COSERN / OEA
 Contrato Nº: 4600026241
 Data de Início Contratual: 10/01/2013 Data de Término Contratual: 18/07/2013

- o Realização de testes de continuidade, de resistência de isolamento e de tensão de circuito aberto nos cabos de 6mm².

4. Sala de Controle:
 - o Chapisco e reboco (área externa) da Sala;
 - o Pintura na área interna (cal e massa corrida) da Sala;
 - o Aplicação de cerâmica no piso e nas paredes;
 - o Instalação do Quadro Geral de Distribuição;
 - o Aplicação de ferragens e concretagem na base (piso) da fossa.
5. Drenagem e Pavimentação:
 - o Correções e ajustes nas calhas de drenagem;
 - o Compactação de trechos irregulares e escavados.
6. Rede de Média Tensão Subterrânea:
 - o Execução de testes nos cabos de 35mm².
7. Eletrocentro:
 - o Parametrização do relé de proteção;
 - o Chegada das escadas para acesso ao Eletrocentro;
 - o Preparativos para o Start-up.

- Eventuais Intercorrências detectadas e ações corretivas propostas
 - o N/A.
- Registros de não-conformidades, medidas básicas e de prevenção
 - o N/A.
- Registro de pendências imputáveis à empresa e não imputáveis à empresa
 - o N/A.
- Sinalização de fatos relevantes
 - o N/A.
- Registro de acidentes ou de atos contra segurança de funcionários próprios ou terceirizados
 - o N/A.
- Registros de incidentes relacionados à higiene do trabalho
 - o N/A.
- Registro de incidentes relacionados ao meio ambiente
 - o N/A.
- Registro de recomendações do contratante
 - o N/A.

RELATÓRIO DIÁRIO DE OBRA

Construção da USF – Arena Pernambuco
 Contratante: CELPE / COELBA / COSERN / OEA
 Contrato Nº: 4600026241
 Data de Início Contratual: 10/01/2013 Data de Término Contratual: 18/07/2013

- Registro Fotográfico
- > Módulos Fotovoltaicos:



Foto 01: Montagem das estruturas suporte e dos strings box – Sistema Campo 01 e 02.



Foto 02: Montagem das estruturas suporte e dos strings box – Sistema Campo 03.



Foto 03: Montagem das estruturas suporte e dos strings box – Sistema Campo 04.



Foto 04: Montagem das estruturas suporte e dos strings box – Sistema Campo 05.

RELATÓRIO DIÁRIO DE OBRA

Construção da USF – Arena Pernambuco
 Contratante: CELPE / COELBA / COSERN / OEA
 Contrato Nº: 4600026241
 Data de Início Contratual: 10/01/2013 Data de Término Contratual: 18/07/2013

- > Estruturas Metálicas:



Foto 05: Aterramento das estruturas metálicas.



Foto 06: Aterramento das estruturas metálicas.

- > Instalações Elétricas em Baixa Tensão:



Foto 07: Passagem dos cabos de 6mm² e ligações das séries e strings.



Foto 08: Passagem dos cabos de 6mm² e ligações das séries e strings.

Figura 2. Exemplo das informações condensadas em uma RDO durante o processo de instalação da USF Arena-PE.

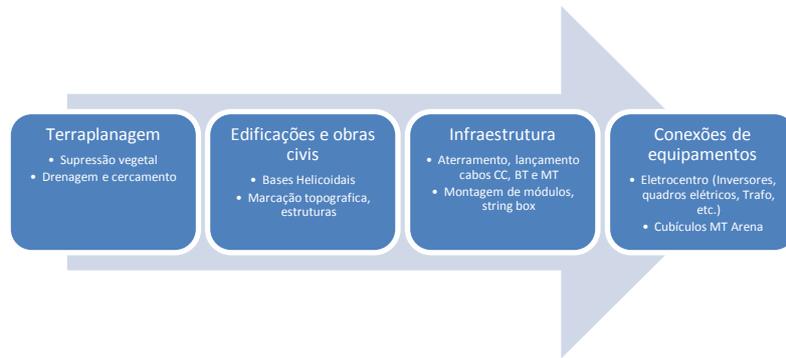


Figura 3. Principais tarefas no processo de instalação da Arena PE.

Com essas informações foi possível calcular o número de horas que cada trabalhador destinou por dia para cada uma das tarefas definidas. Das informações contidas nas RDO, foi possível obter também a quantidade de dias utilizados para completar as atividades chaves na instalação da usina. As informações foram então consolidadas e uma rotina de calculo estabelecida. Um exemplo de planilha eletrônica desenhada pode ser vista na Fig. 4.

Utilizando essas informações como base de cálculo, foi possível estimar a quantidade de horas que cada operário empregou em cada atividade, tendo em conta a jornada laboral específica para cada dia. Os resultados parciais foram consolidados como exemplificado na Tab. 1.

MÊS	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO
No. Trabalhadores / Tarefa								
Supressão Vegetal	0	4	5	0	0	0	0	0
Terraplanagem	0	5	126	255	138	126	51	
Drenagem e Cerca	0	0	0	255	113	121	14	
Edificações / Obras civis	0	0	0	0	0	59	286	
CFTV	0	0	0	0	0	4	26	
Bases Helicoidais	0	0	0	0	15	113	7	
Marcação topografica / Estruturas Mecánicas	0	0	0	0	10	36	367	
Montagem de Módulos	0	0	0	0	0	0	69	
Montagem StringBox	0	0	0	0	0	0	9	
Lançamento de Cabos CC	0	0	0	0	0	0	0	
Eletrocentro (Inversores, Trafo, Quadros elétricos, etc.)	0	0	0	0	0	0	38	
Infraestrutura de Cabos BT	0	0	0	0	194	0	0	
Lançamento de Cabos BT	0	0	0	0	0	0	18	
Aterramento	0	0	0	0	63	0	0	
Infraestrutura de Cabos MT	0	0	45	225	24	0	10	
Lançamento de Cabos MT	0	0	0	225	30	0	21	
Cubículos MT (Arena)	0	0	0	0	0	0	3	
Comissionamento	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL DE RECURSOS MENSIS X TAREFA	0	9	176	960	587	459	919	1

Figura 4. Ilustração de planilha elaborada: Quantidade mensal de trabalhadores por tarefa. USF Arena-PE.

Tabela 1. Quadro consolidado de HH mensal por tarefa ao longo do processo de instalação da USF Arena PE.

MÊS	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO
Homem - Hora / Tarefa								
Supressão Vegetal	0	36	45	0	0	0	0	0
Terraplanagem	0	45	1118	2193	1212	1110	449	0
Drenagem e Cerca	0	0	0	2193	990	1073	115	358
Edificações / Obras civis	0	0	0	0	0	509	2500	2779
CFTV	0	0	0	0	0	32	227	247
Bases Helicoidais	0	0	0	0	130	991	63	0
Marcação topografica / Estruturas Mecánicas	0	0	0	0	90	324	3238	1944
Montagem de Módulos	0	0	0	0	0	0	611	2319
Montagem StringBox	0	0	0	0	0	0	81	213
Lançamento de Cabos CC	0	0	0	0	0	0	0	632
Eletrocentro (Inversores, Trafo, Quadros elétricos, etc.)	0	0	0	0	0	0	332	79
Infraestrutura de Cabos BT	0	0	0	0	1695	0	0	0
Lançamento de Cabos BT	0	0	0	0	0	0	162	0
Aterramento	0	0	0	0	558	0	0	108
Infraestrutura de Cabos MT	0	0	0	1935	216	0	80	170
Lançamento de Cabos MT	0	0	0	1935	342	0	168	191
Cubículos MT (Arena)	0	0	0	0	0	0	24	18
Comissionamento	0	0	0	0	0	0	0	134
TOTAL MENSAL X TODAS AS TAREFAS	0	81	1163	8256	5233	4039	8050	9192

4.3 Resultados obtidos

Baseado nas informações obtidas através dos relatórios diários de obra fornecidos foi possível estabelecer as atividades de maior demanda (H.h) e sua parcela de contribuição no recurso total utilizado na montagem da usina e o tempo (dias) empregado para cada uma das principais atividades estabelecidas anteriormente. Também foi analisada a evolução na execução das atividades, particularmente nas duas mais importantes e inerentes a plantas fotovoltaicas: a instalação das bases e a montagem dos módulos. Essas informações são apresentadas a seguir.

As informações da Tab. 1 são apresentadas na forma gráfica na Fig. 5, Tarefa por índice (h.h) e parcelas de contribuição por tarefa. Pode-se observar que as etapas da instalação com maior demanda de recursos (H.h) estão concentradas nas tarefas de adequação do terreno (terraplanagem, drenagem e cerca) com 10.856 H.h, representando cerca de 30%, obras civis (marcação topográfica/estruturas e construção de edificações) com 11.384 H.h, cerca de 31,6%. Montagem dos módulos fotovoltaicos e Bases helicoidais apresentam 2.930 H.h (8,14%) e 1.184 H.h (3,3%), respectivamente.

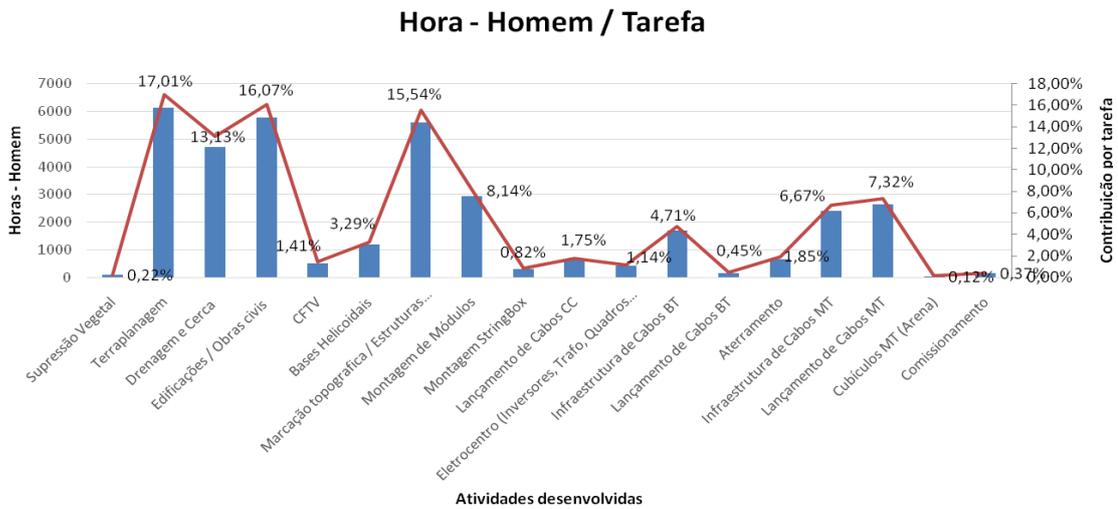


Figura 5. Estimativa do índice (H.h) por atividade desenvolvida.

Na Fig. 6 mostra a quantidade de dias utilizados para a execução de cada atividade. Observa-se a concordância com as informações da Fig. 5. Ou seja, as atividades com maior (H.h) demandaram mais tempo. Salienta-se que as atividades com maiores índices (H.h) não são atividades específicas da geração fotovoltaica. São atividades comuns a vários tipos de empreendimentos.



Figura 6. Dias de instalação por atividade de instalação desenvolvida.

Como ilustração da metodologia os comentários serão direcionados às atividades de montagem de módulos fotovoltaicos e bases helicoidais.

O início da instalação das bases helicoidais foi reportado no dia 10 de Junho e estendeu-se até o dia 27 do mesmo mês. Devido às características do solo, foi necessária a reinstalação de algumas das bases para manter o alinhamento das estruturas sobre as quais os módulos seriam fixados, gerando mudanças significativas no cronograma de instalação previsto. As atividades de preparação das estruturas para a fixação dos módulos terminou finalmente no dia 22 de agosto.

Na Fig. 7 pode-se observar a evolução do processo de instalação das bases. O processo de instalação das bases foi mecânico, realizado por máquinas com um ritmo/ rendimento estabelecido, portanto, não é possível visualizar uma curva de aprendizado (H.h) ao longo dos dias de instalação. As variações na quantidade de bases fixadas no solo foram geradas principalmente pelas condições climáticas. A ocorrência de chuvas por vários dias interrompeu por diversas vezes o processo gerando atrasos significativos no decorrer dessa atividade. Embora as atividades de instalação das bases das estruturas metálicas de suporte dos módulos se estenderam por quase 72 dias (incluindo os reforços estruturais no solo), nos relatórios diários de obra foram reportadas 17 ocorrências que são apresentadas na Fig. 7.

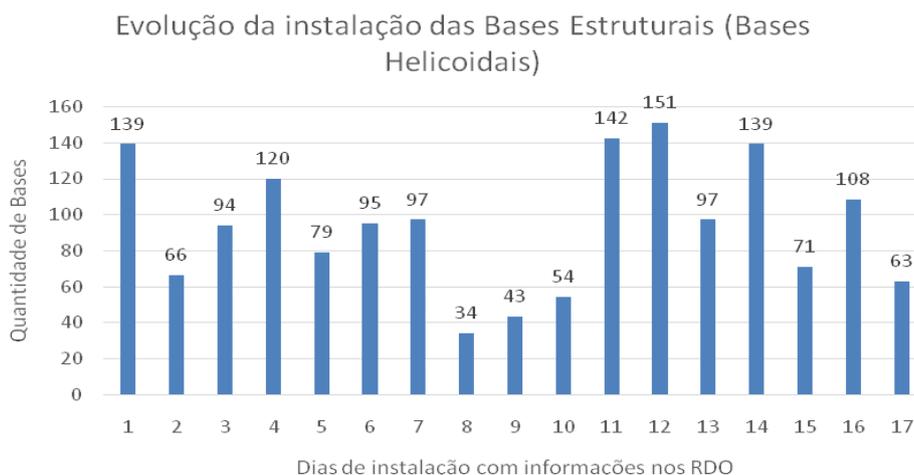


Figura 7. Evolução da instalação das Bases Helicoidais

No caso da montagem dos módulos fotovoltaicos, o início da instalação do sistema central foi, segundo os RDO, no dia 17 de Julho sendo finalizado no dia 27 de agosto conjuntamente com a planta tecnológica. As atividades nessa linha iniciaram com a instalação demonstrativa de 1 módulo, com a finalidade de capacitar os trabalhadores nas diferentes etapas da montagem e fixação dos módulos nas estruturas. A Fig. 8 mostra a evolução do processo de montagem (curva de aprendizado). Observa-se a instalação de 16 unidades no segundo dia para 120 já no terceiro dia. A média obtida foi de 204 módulos/dia, sem contabilizar os dias de menor quantidade de módulos instalados, como é no caso dos dias 5, 6, 58 e 36, onde as condições do clima e problemas com a fixação das estruturas afetaram a produtividade dessa atividade. Similar ao ocorrido com a atividade instalação de bases os dias sem informação de ocorrências não foram considerados. No período de 25 dias, não corridos, um total de 3.963 módulos foram montados. Portanto, como essa atividade importou em 2.930 H.h, o índice obtido é de 0,738 H.h por modulo montado.

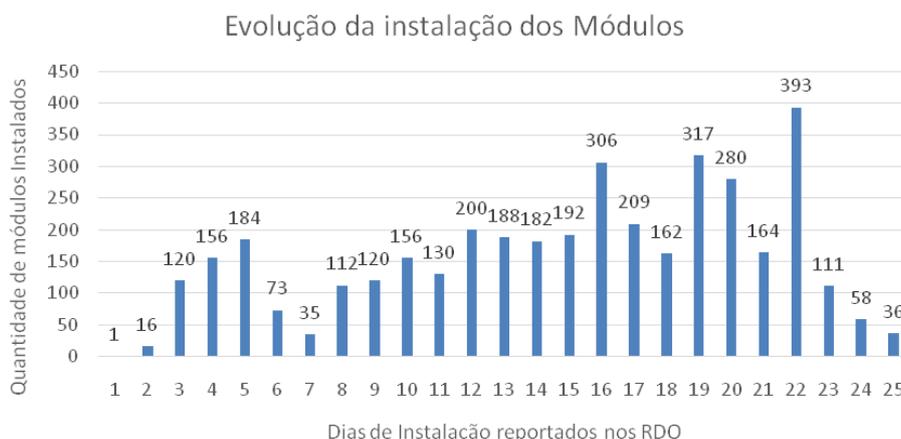


Figura 8. Evolução da instalação dos módulos

5. COMENTÁRIOS FINAIS

O presente artigo apresenta uma metodologia para determinar o esforço de mão de obra (MO) necessário para a execução de atividade na montagem de sistemas solares. Para a determinação dos índices de produtividade é fundamental o conhecimento das quantidades de material que cada atividade envolve. Os índices de produtividades obtidos estão baseados em informações da experiência com a implantação do P&D Usina Solar Arena PE e devem ser entendidos como resultados preliminares. A experiência é pioneira e envolveu a contratação de várias prestadoras de serviços de especialidades e qualificações diferenciadas o que pode ter gerado incompatibilidade nos ritmos de trabalho e dificuldades no apontamento dos dados. No entanto, o processo de aprendizagem foi enriquecedor para todos os agentes envolvidos, empresas proponentes e prestadoras de serviços e corpo técnico da universidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições envolvidas no P&D: a ANEEL pelo incentivo a geração solar fotovoltaica lançando a Chamada para o P&D, ao Grupo Neoenergia e Odebrecht Energia pela disponibilização das informações, ao Centro Brasileiro de Mudanças Climáticas pelo coordenação do projeto e ao CPNq pela concessão das bolsas de pesquisa aos alunos de pós-graduação envolvidos no desenvolvimento desse P&D.

REFERÊNCIAS

- ANEEL - AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. Chamada N° 13/2011 – Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção de Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira.”. Brasília – DF, agosto de 2011.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisas Energética – Nota Técnica. Disponível em < http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf> Acesso em 10 de novembro de 2013.
- GOODRICH, A. C., WOODHOUSE. M., JAMES, T. Solar PV Manufacturing Cost Model Group: Installed Solar PV System Prices. 2011.
- JORNAL DO COMÉRCIO de 29/12/2013:Leilão PE Sustentável, 2013.

PRODUCTIVITY INDICES LINKED TO ASSEMBLY ACTIVITIES AND INSTALLATION OF PHOTOVOLTAIC PLANTS IN BRAZIL. CASE STUDY: PHOTOVOLTAIC SOLAR PLANT SÃO LOURENÇO DA MATA

Abstract *The first photovoltaic power plants , arising from the Public Call ANEEL13/2011 “Strategic Project: Technical and Commercial Arrangements for Insertion of Solar Photovoltaic Generation in the Brazilian Energy Matrix, initiate the operations phase and promote the opportunity of knowledge about the assembly and installation dynamics of photovoltaic plants and the actual costs composition of photovoltaic generation in Brazil . The vast majority of cost analyzes held until then, consider installation costs as values transported, often from countries with completely different realities from those in Brazil, especially where it relates to labor for assembly and field installation of PV modules. In this sense, the units have been used provide, besides the possibility of formation of human resources, a source of more real data that can be used to support studies of technical -economic feasibility of future projects. This paper presents a methodology to estimate productivity indices linked to assembly activities and installation of solar power plants in Brazil, based on experiences during the installation of PV Power Plant São Lourenço da Mata (1 MWp), also commonly known as Usina Solar Arena PE (USF Arena PE). For each activity it was generated an index, Man-hour (Hh) index, that express the pace of productivity in the assembly and installation process. For example, changes in the assembly of 16 units in the first days to an average activity of 204 units / day, with peaks of about 390 units / day modules. These data can be translated into a productivity ratio of 0.738 Hh / mounted module. Clearly, the data presented are not conclusive. Represent data from a single installation of PV power plant. With the completion of other projects, underway indexes will be consolidated.*

Key words: *PV Power Plant Arena PE; Man-hour productivity indices of PV Plants in Brazil; costs of grid-connected PV systems in Brazil.*