



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAEL MENDONÇA ROCHA BARROS

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

CAMPINA GRANDE
2015

Rafael Mendonça Rocha Barros

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Relatório de Estágio submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:
Edson Guedes da Costa, D. Sc.

Campina Grande
2015

Rafael Mendonça Rocha Barros

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Relatório de Estágio submetido ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em: / /

George Rossany Soares de Lira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Edson Guedes da Costa, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

RESUMO

Este relatório tem como objetivo apresentar as atividades desenvolvidas pelo aluno durante o período de estágio na empresa Suna Engenharia, localizada na cidade de Campina Grande, Paraíba. O estágio foi realizado na modalidade supervisionado no período de 11/05/2015 à 31/07/2015, com carga horária de 20 horas semanais, totalizando 240 horas de estágio. As atividades foram realizadas principalmente na área de máquinas elétricas, no escopo do projeto de um aerogerador de pequeno porte, que está em desenvolvimento na empresa. O aluno desenvolveu todas as etapas do dimensionamento de uma máquina síncrona de ímãs permanentes apropriada para o funcionamento em baixa velocidade de rotação, que será utilizada no aerogerador. Também foram realizadas simulações em software específico que validaram o dimensionamento realizado. A metodologia adotada para o projeto, assim como, uma breve explanação sobre a empresa são apresentadas neste relatório.

Palavras-chave: Estágio Supervisionado. Suna Engenharia. Aerogeradores.

SUMÁRIO

1	Introdução	6
2	Apresentação da Empresa	7
2.1	Concentrador de Sólidos Solúveis.....	9
2.2	Carrapicho.....	10
2.3	Aerogerador de Pequeno Porte.....	11
3	Atividades Realizadas	12
3.1	Projeto Informativo.....	12
3.2	Dimensionamento da Máquina.....	14
3.3	Simulação do Modelo Proposto.....	17
4	Conclusão	21
	Referências	22

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo desenvolvimento sustentável é um dos movimentos sociais mais importantes deste início de século. São incontáveis as iniciativas voluntárias, relacionadas com o desenvolvimento sustentável, subscritas por empresas de setores específicos como energia, mineração, química, etc. É possível notar o desaparecimento gradual de fronteiras empresariais tradicionais, quando por exemplo, simples donos de casa produzem eletricidade e passam a vendê-la à rede elétrica, compondo o sistema de geração de um país.

Nesse contexto de busca por soluções inovadoras e sustentáveis surgiu a empresa Suna Engenharia, localizada na cidade de Campina Grande, Paraíba, um polo tecnológico regional. A empresa desenvolve projetos em várias áreas da engenharia sempre com o compromisso ambiental. Um dos desafios enfrentados atualmente pela empresa é o desenvolvimento de um sistema para aproveitamento da energia eólica em regiões com baixa velocidade de ventos.

O projeto é bastante oportuno, no momento em que a geração distribuída começa a ser implantada no Brasil, com a resolução 482/2012 da ANEEL. Com isso, criou-se um horizonte positivo para o desenvolvimento da geração de pequeno porte em regiões urbanas, que na maioria dos casos possui baixa velocidade de ventos (ANEEL, 2003).

Aerogeradores convencionais utilizam multiplicadores de velocidade entre o eixo da turbina eólica e do gerador elétrico, de modo que, apesar da turbina girar em baixas rotações a velocidade no eixo do gerador elétrico é elevada. No entanto, este sistema apresenta várias desvantagens, como o aumento de custos, necessidade de manutenção elevada, aumento da complexidade do equipamento e elevar consideravelmente a ocorrência de defeitos.

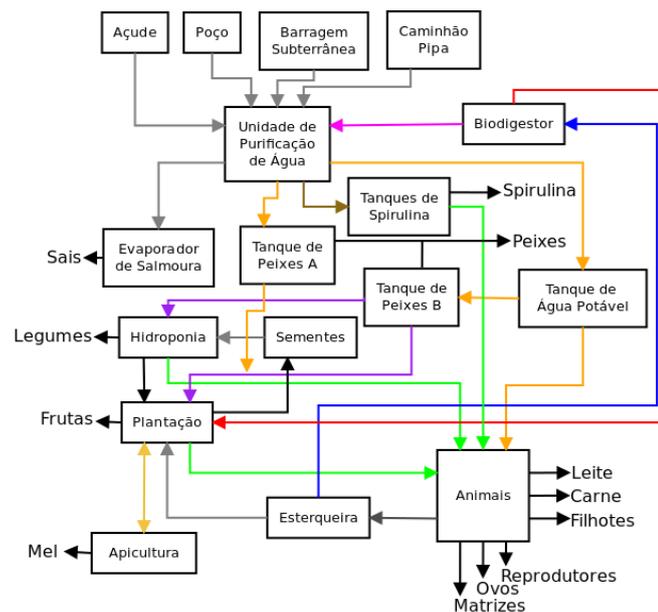
Aproveitando a oportunidade do mercado, a empresa desenvolve atualmente o projeto de um aerogerador de pequeno porte para funcionamento em regiões de baixa velocidade de ventos, sem a utilização de multiplicador de velocidade.

O projeto é financiado pelo CNPq por meio do Programa de Formação de Recursos Humanos em Áreas Estratégicas (RHAE), e conta com uma equipe de 5 pessoas, sendo 1 mestre em Engenharia Química, 1 mestre em Engenharia Mecânica, 2 graduandos de Engenharia Mecânica e 1 graduando (estagiário) de Engenharia Elétrica. As atividades do estágio foram desenvolvidas, principalmente, dentro deste projeto, e se concentraram no projeto do gerador elétrico que será utilizado na turbina eólica em desenvolvimento.

2 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A Suna Engenharia é uma empresa jovem, de caráter inovador, fundada no ano de 2012, comprometida com valores éticos e ambientais. A mesma nasceu com o desejo de romper o ciclo vicioso de combate à seca. Seu maior objetivo é possibilitar o convívio do homem do campo com a escassez de água em regiões áridas, como o nordeste brasileiro. Considerando que o problema dessas regiões é, basicamente, a falta de tecnologia adequada ao convívio com a seca, a empresa tem desenvolvido sistemas que, de maneira integrada, possibilitariam a geração de renda e segurança alimentar em épocas de estiagem. Assim, a Suna Engenharia criou o conceito do Sistema Integrado de Geração de Renda, mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Conceito do Sistema Integrado de Geração de Renda desenvolvido pela Suna Engenharia.



Fonte: (SUNA ENGENHARIA, 2015).

Seguindo esse conceito a empresa têm desenvolvido algumas tecnologias inovadoras e já possui três patentes requeridas. Os principais sistemas desenvolvidos que compõe o portfólio da empresa são apresentados nas seções seguintes. Além dos projetos ligados ao Sistema Integrado de Geração de Renda, a empresa também realiza diversos trabalhos de engenharia em diferentes áreas, dentre os serviços executados, estão:

- Pesquisa e Desenvolvimento:
 - Estudo de viabilidade técnica e econômica;

- Criação de protótipos.
- Patentes:
 - Busca;
 - Redação.
- Sistemas Fotovoltaicos:
 - Dimensionamento;
 - Montagem;
 - Manutenção.
- Automação:
 - Auditoria de malhas de controle;
 - Sintonia de controladores;
 - Auditoria de válvula de controle utilizando o software de gerenciamento de malhas de controle da Matrikon;
 - Configuração do SDCD CS3000 da Yokogawa;
 - Configuração do Batch3000 da Yokogawa;
 - Configuração do historiador de dados de processos InfoPlus21;
 - Programação de CLP.
- Instrumentação:
 - Calibração de instrumentos de campo e de laboratório;
 - Configuração e parametrização de controladores, transdutores e conversores;
 - Manutenção e calibração de válvulas de controle;
 - Manutenção de cromatógrafo e analisador de líquido e de gás de processo.
- Elétrica e Eletrônica:
 - Montagem e manutenção de painéis de comando;
 - Manutenção de sistemas controlados por CLP;
 - Manutenção de retificadores e UPS;
 - Manutenção de sistemas de proteção catódica;
 - Manutenção elétrica predial.

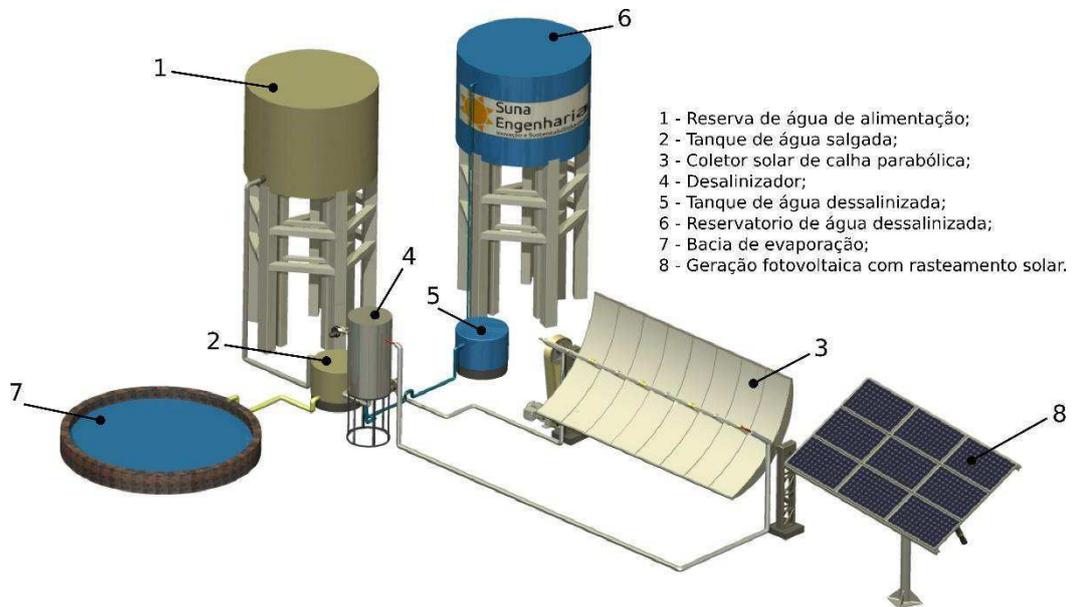
2.1 CONCENTRADOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS

O Concentrador de Sólidos Solúveis, cuja patente já foi requerida pela empresa, é um equipamento que promove a separação de um líquido dos sólidos dissolvidos nele, através do processo de umidificação e desumidificação com reaproveitamento do calor latente de vaporização.

O reaproveitamento de calor latente de vaporização reduz significativamente os custos de operação do equipamento, sendo possível e recomendado o uso de fontes de energias alternativas, tais como solar e geotérmica, para fornecimento de calor a evaporação, reduzindo dessa forma os custos de operação.

O concentrador pode ser utilizado em indústrias que realizam a concentração de sólidos solúveis através da evaporação como é o caso da indústria de café solúvel, leite em pó, soda cáustica, dessalinização, fármacos, etc. Ao mesmo tempo, o equipamento também pode ser utilizado como dessalinizador. Com esse objetivo, a Suna Engenharia em parceria com a UFCG desenvolveu o sistema integrado de dessalinização mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Sistema integrado de dessalinização desenvolvido pela Suna Engenharia.



Fonte: (SUNA ENGENHARIA, 2015).

O sistema opera inteiramente com energia solar, admitindo água de várias fontes. A água salgada é armazenada no reservatório (1) que alimenta o tanque (2). Do tanque (2) a água é bombeada para o coletor solar de calha parabólica (3) onde é aquecida, retornando para

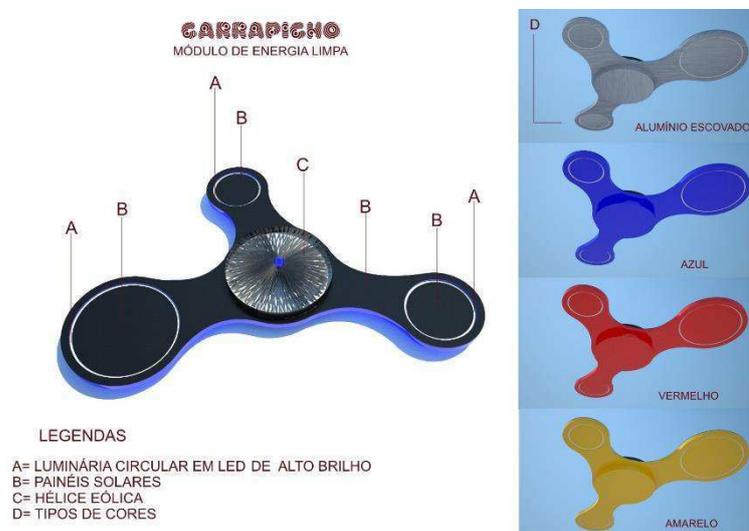
o dessalinizador (4). A água dessalinizada produzida é enviada para o tanque (5) e deste para o reservatório (6).

O excesso de água salgada retorna do dessalinizador (4) para o tanque (2), e o processo se repete até que seja alcançada a máxima concentração de sal admissível. Ao final, todo o conteúdo do sistema é drenado de (2) para a bacia de evaporação (7). Os motores elétricos das bombas são alimentados com a energia elétrica fornecida pelo painel fotovoltaico (8). Tanto o coletor solar (3) quanto o rastreador solar utilizado no painel fotovoltaico (8) foram desenvolvidos pela empresa e oferecem benefícios em relação aos modelos comerciais existentes.

2.2 CARRAPICHO

Em parceria com a empresa Studio 76, a Suna Engenharia desenvolveu o Carrapicho - Módulo de Energia Limpa, mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Carrapicho, módulo de energia limpa, desenvolvido pela Suna Engenharia.



Fonte: (SUNA ENGENHARIA, 2015).

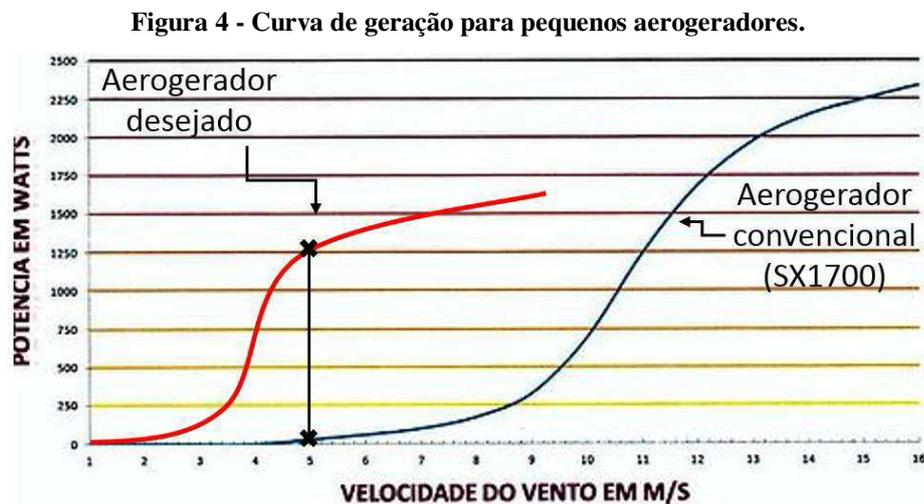
O Carrapicho é uma luminária autônoma, que utiliza pequenos módulos fotovoltaicos e eólico para gerar energia que carregam um conjunto de baterias, que alimentam luminárias de LED de alto brilho. Os principais benefícios do carrapicho são: economia de energia elétrica e design harmonioso com o ambiente. A patente do produto também foi requerida pela empresa.

2.3 AEROGERADOR DE PEQUENO PORTE

Um dos principais projetos em desenvolvimento na empresa atualmente é o de um aerogerador de pequeno porte. O projeto é financiado pelo CNPq, por meio do Programa de Fixação de Recursos Humanos em Áreas estratégicas (RHAE). Conta com equipe de 4 pessoas além do aluno estagiário, os quatro integrantes compõem o quadro de funcionários fixos da empresa e são da área de engenharia química e mecânica.

O objetivo principal do projeto é o desenvolvimento de um aerogerador de pequeno porte, próprio para operar em regiões com baixa velocidade de ventos, sem a utilização de multiplicadores de velocidade. A motivação é o fato de que a maioria dos modelos comerciais disponíveis têm como condição nominal, ventos de 12 m/s. Entretanto, ventos urbanos, em geral, estão abaixo de 5 m/s.

A curva de geração para um modelo comercial de aerogerador é mostrada na Figura 4. O modelo SX1700 da Satrix, possui potência de geração nominal de 1700 W, no entanto a análise da figura mostra que essa potência é alcançada apenas em 12 m/s, enquanto que para ventos de 5 m/s praticamente não existe geração. Dessa forma, o equipamento só irá efetivamente gerar energia nos picos de ventos que ocorrem durante o dia.



Fonte: (SATRIX, 2015).

A curva de geração do aerogerador que está sendo projetado pela Suna Engenharia também é mostrada na Figura 4. A análise da figura mostra que a velocidade de ventos nominal neste caso é 5 m/s. A comparação entre as duas curvas, evidencia a vantagem do modelo em desenvolvimento sobre os modelos comercialmente existentes. Uma vez que o primeiro proporcionará geração de energia durante a maior parte do tempo.

3 ATIVIDADES REALIZADAS

As atividades do estágio foram realizadas no escopo do projeto de um aerogerador de pequeno porte, que está em desenvolvimento na empresa. O projeto é financiado pelo CNPq por meio do Programa de Formação de Recursos Humanos em Áreas Estratégicas (RHAE), e conta com uma equipe multidisciplinar de 4 pessoas, além do aluno estagiário. O objetivo principal é o desenvolvimento de um aerogerador de pequeno porte, próprio para operar em regiões com baixa velocidade de ventos, sem a utilização de multiplicadores de velocidade.

O projeto está dividido em duas frentes de trabalho, uma relacionada aos aspectos mecânicos da turbina e outra relacionada ao gerador elétrico necessário para conversão de energia mecânica em elétrica. O aluno atuou na frente de trabalho do gerador elétrico de maneira individual. Em resumo, a atividade proposta pela empresa ao aluno, foi o dimensionamento de uma máquina elétrica apropriada para funcionamento no aerogerador em questão. As atividades foram supervisionadas pelo engenheiro mecânico Leonardo Pereira. A falta de um engenheiro eletricitista na empresa tornou as atividades do estágio mais complexas, uma vez que o aluno teve que desenvolvê-las de maneira auto didática.

Dessa forma, foram desenvolvidas todas as etapas do dimensionamento de uma máquina apropriada para o funcionamento em baixa velocidade de rotação. Também foram realizadas simulações em software específico com o intuito de validar o dimensionamento realizado. A metodologia adotada para o projeto, assim como, os resultados das simulações são apresentados nas seções seguintes. No entanto, devido ao termo de confidencialidade firmado com a empresa, as informações serão apresentadas de maneira restrita. Não serão apresentadas as equações de dimensionamento, tão pouco os detalhes construtivos da máquina.

3.1 PROJETO INFORMACIONAL

A empresa possui uma metodologia própria para projeto. A primeira etapa é a elaboração do projeto informacional, que consiste em um estudo onde devem ser realizadas pesquisas de mercado, para identificação das tendências e soluções utilizadas por empresas

concorrentes. Também devem ser identificados todas os requisitos e especificações da máquina, os resultados desta etapa são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Requisitos e especificações para o dimensionamento do gerador elétrico.

Requisitos	Especificações
Operação em baixas rotações	100 rpm
Geração de pequena potência	1,4 kW
Baixo peso	< 40 kg
Baixo custo	< 30% do custo total da turbina
Boa eficiência	> 80%
Simplicidade de operação	Sem fontes externas e sem multiplicador de velocidade
Simplicidade de fabricação	Modelo menos complexo possível
Próprio para geração eólica	Apropriado para conexão com sistema retificador/inversor
Boa geometria	Aspecto cilíndrico

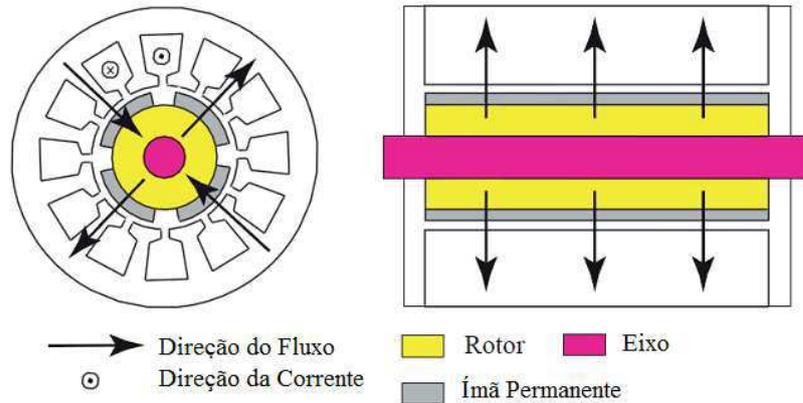
Fonte: Autoria própria.

No final do projeto informacional é necessário que se tenham informações suficientes para que as escolhas preliminares possam ser realizadas. A principal escolha no caso, é o tipo de máquina a ser utilizado. Após várias considerações, à conclusão foi de que a máquina mais apropriada para o projeto seria a máquina síncrona de ímãs permanentes de fluxo radial, conhecida pela sigla em inglês PMSM (*Permanent Magnet Synchronous Machine*). Algumas das razões que levaram a escolha da topologia foram:

- É o modelo mais utilizado comercialmente em pequenos aerogeradores;
- É o modelo com maior simplicidade de fabricação;
- Dispensa a necessidade de fontes externas para excitação do campo;
- Existe vasta literatura sobre metodologia de dimensionamento para o modelo;
- Possui processo de fabricação bem conhecido e difundido na indústria, fazendo com que o modelo apresente menor custo de produção.

A topologia de fluxo radial recebe este nome porque o fluxo magnético percorre uma direção perpendicular ao sentido de rotação do rotor, conforme ilustração na Figura 5.

Figura 5 - Vistas transversal e radial de uma PMSM típica.



Fonte: (MADANI, 2011).

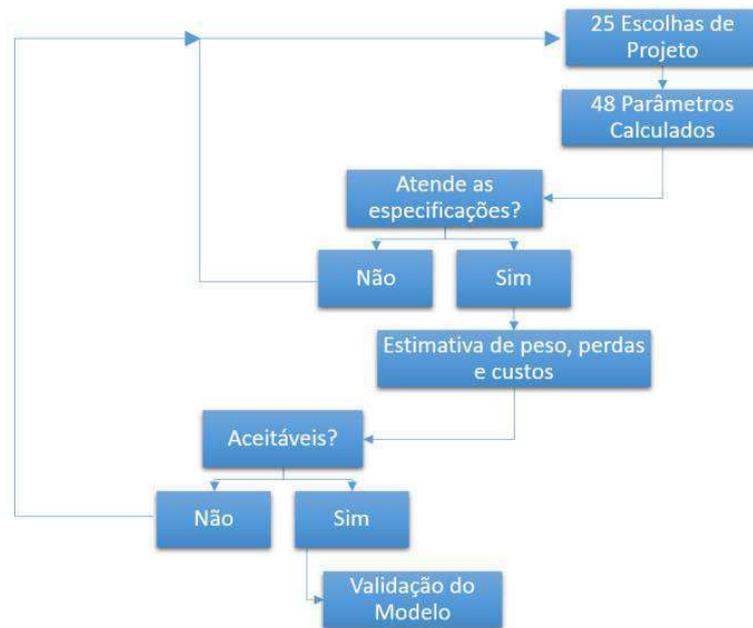
3.2 DIMENSIONAMENTO DA MÁQUINA

Uma vez determinada a topologia e os requisitos da máquina, foi possível iniciar o seu dimensionamento. Após uma vasta pesquisa, foi encontrada uma metodologia de dimensionamento que atendia de maneira satisfatória os objetivos do projeto. O método é conhecido como “Método do torque por unidade de volume”. É um método clássico para dimensionamento de máquinas de ímãs permanentes apresentado por (MILLER, 1989).

O método consiste basicamente em se obter o volume do rotor a partir da tensão tangencial média no entreferro, que é responsável pela produção do torque no entreferro. Esse parâmetro é o ponto de partida para o dimensionamento da máquina. O valor adequado para a tensão tangencial média pode ser determinado de diversas maneiras, como por exemplo, técnicas de apoio à decisão, experiência do projetista, tabela de valores típicos em função do tipo e do tamanho da máquina, entre outros.

Uma vez que a tensão tangencial média no entreferro seja escolhida, pode-se obter o volume equivalente do rotor. Conhecendo-se o volume do rotor e especificando um valor para o comprimento axial da máquina, é possível se obter o diâmetro do rotor. Assim por diante, fazendo-se escolhas de projeto e utilizando relações constitutivas e as leis do eletromagnetismo é possível obter todos os parâmetros de interesse no projeto da máquina. A estratégia de dimensionamento utilizada é mostrada, de maneira esquematizada, na Figura 6.

Figura 6 - Estratégia utilizada no dimensionamento da máquina.



Fonte: Autoria própria.

Conforme o fluxograma apresentado na Figura 5, inicialmente foram realizadas 25 escolhas para o projeto. Essas escolhas representam parâmetros que não podem ser determinados analiticamente. A principal estratégia utilizada para as escolhas foi a utilização de tabelas disponíveis na literatura técnica, as quais apresentam valores típicos para cada parâmetro, a depender do tipo de máquina. Evidentemente a utilização de uma técnica de apoio a decisão seria mais apropriado para o caso. Entretanto, devido a limitação de tempo e recursos não pode ser utilizada.

A partir das escolhas iniciais foi possível determinar analiticamente outros 48 parâmetros. Os 73 parâmetros juntos representam todas as informações necessárias sobre a máquina. A partir dos parâmetros alcançados, verificou-se se os requisitos estabelecidos na Tabela 1 foram atendidos, em caso negativo, os parâmetros iniciais eram modificados.

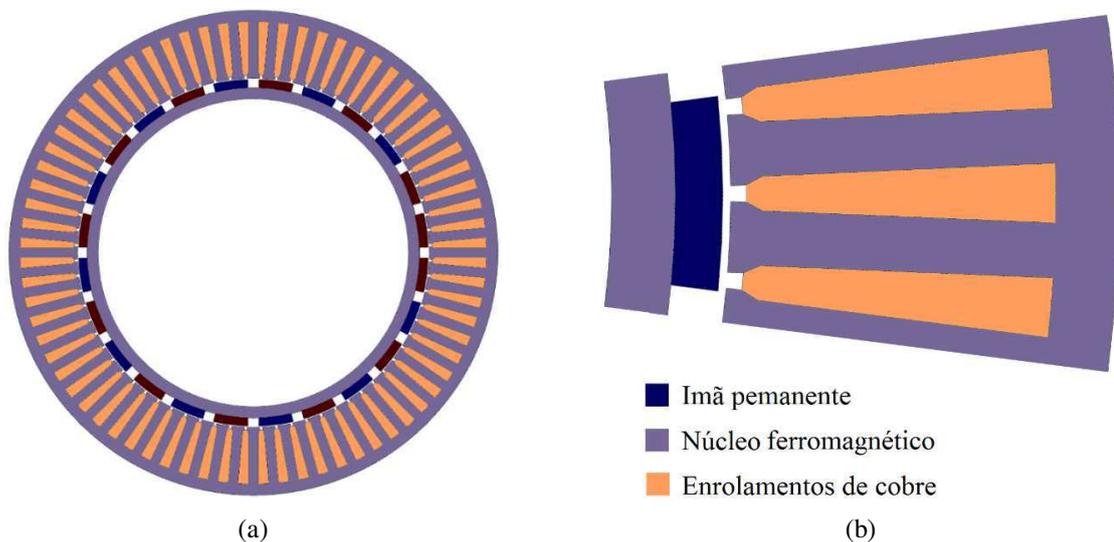
Posteriormente uma análise do peso, perdas e custo da máquina foi realizada. Caso os valores não fossem aceitáveis, mais uma vez, as escolhas iniciais eram refeitas. O processo foi repetido inúmeras vezes até se alcançar os parâmetros finais da máquina.

Ao final do dimensionamento analítico, todas as dimensões da máquina puderam ser determinadas, e posteriormente foram arredondadas para um passo mínimo de 0,5 mm, buscando-se uma precisão realizável na etapa de fabricação. Em seguida, o modelo foi simulado em software específico para análise de desempenho de PMSG, a partir dos resultados das simulações novas modificações foram realizadas no modelo, buscando a

melhora do seu desempenho. O modelo final proposto é apresentado, na sequência da Figura 7 a Figura 9. Na seção seguinte são apresentados e discutidos os resultados das simulações realizadas.

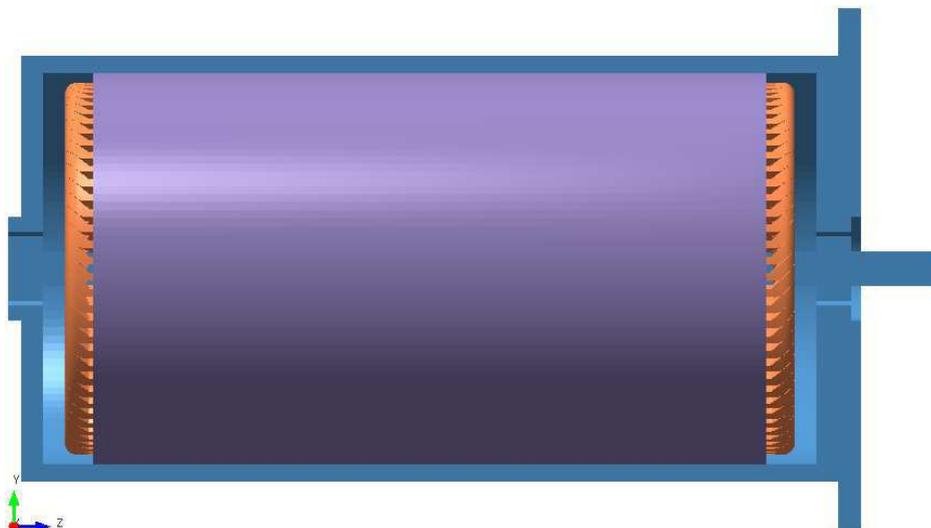
A análise da Figura 7 (a) mostra que a máquina é composta por 72 ranhuras no estator e 24 polos no rotor. A geometria dos dentes do estator é do tipo paralela e pode ser vista em detalhes na Figura 7 (b). Adicionalmente a vista lateral da máquina, incluindo a carcaça, é mostrada na Figura 8. Por fim, uma vista em perspectiva é mostrada na Figura 9. A análise das figuras mostra que a máquina apresenta uma boa geometria, com aspecto cilíndrico, conforme desejado no início do projeto.

Figura 7– (a) Vista frontal da máquina e (b) detalhe da geometria dos dentes do estator.



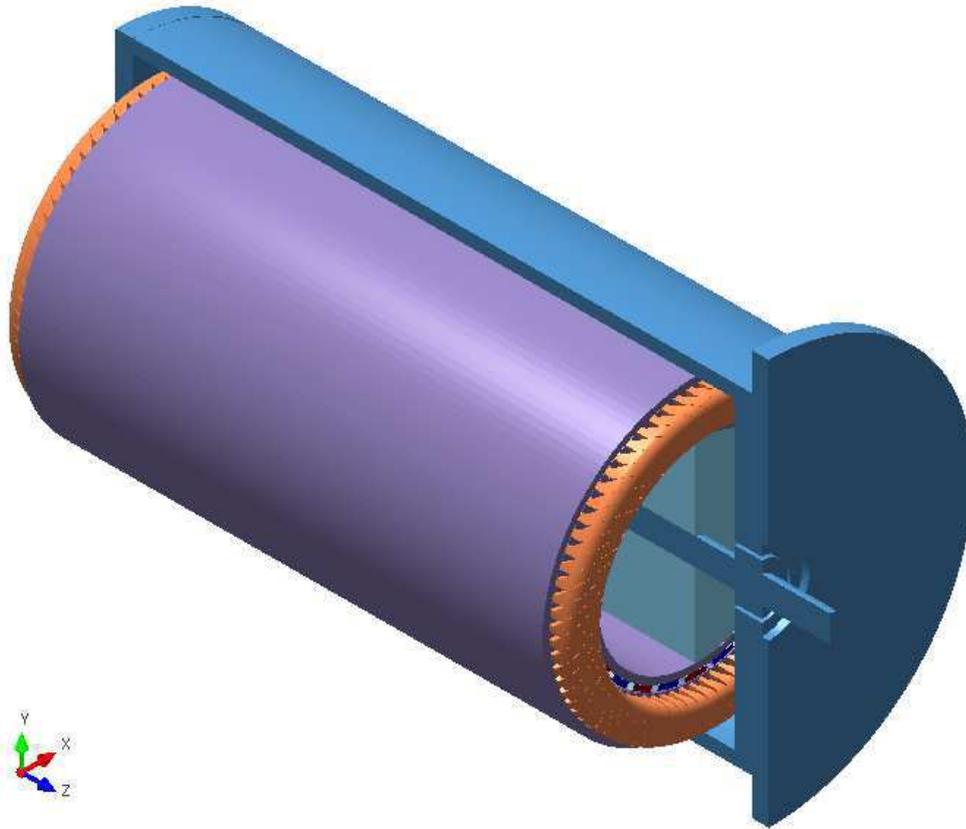
Fonte: Autoria própria.

Figura 8 – Vista lateral da máquina projetada.



Fonte: Autoria própria.

Figura 9 – Vista em perspectiva da máquina projetada.



Fonte: Autoria própria.

Apesar de não serem apresentados neste relatório, foram elaborados desenhos com todas as cotas da máquina, diagrama de bobinagem para os enrolamentos, lista de materiais, considerações sobre a montagem, entre outras informações necessárias à fabricação de um protótipo. Também foi elaborado um relatório descrevendo toda a rotina de testes necessária para avaliação do primeiro protótipo.

3.3 SIMULAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

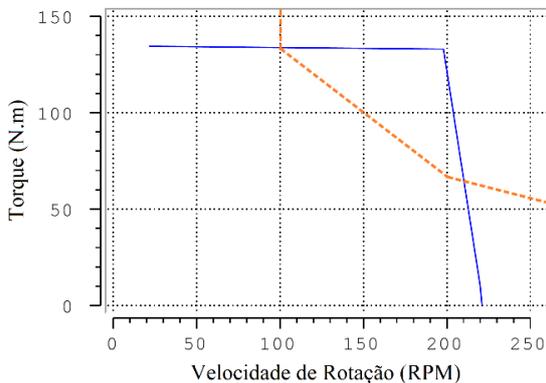
Após a etapa de dimensionamento, surgiu a necessidade de validar de alguma maneira os procedimentos realizados, antes da fabricação de um protótipo. Com esse objetivo, foram realizadas simulações no *software JMAG-ExpressPublic* da empresa japonesa *JSOLCorporation*, que possui diversos produtos para protejo e desenvolvimento de máquinas elétricas e atua desde 1983. O software é gratuito, o que era um dos requisitos necessários, e permite a simulação de máquinas de ímãs permanentes de maneira relativamente simples.

Na simulação é necessário informar a geometria da máquina, materiais utilizados, configuração dos enrolamentos e as condições de acionamento. A partir dos dados de entrada é possível obter as características básicas de análise, como tensão induzida, indutâncias, eficiência, peso, característica torque/potência versus velocidade de rotação, entre outras. Na sequência da Figura 10 a Figura 17 são apresentadas as curvas características da máquina obtidas na simulação.

A característica de torque da máquina é mostrada na Figura 10. A análise da figura mostra que a máquina opera com um torque constante para uma boa faixa de velocidade de rotação. Essa é uma característica típica das máquinas síncronas de ímãs permanentes.

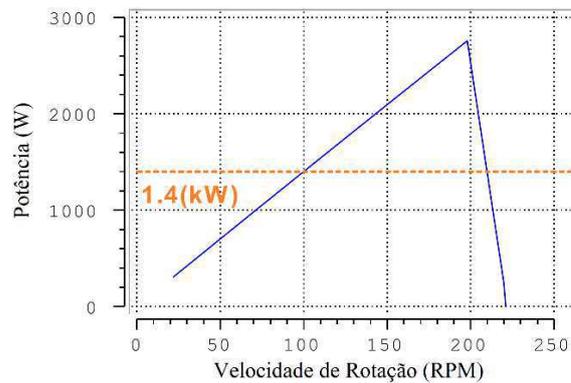
A característica de potência da máquina é mostrada na Figura 11. Nota-se, com a análise da figura que para a velocidade de 100 rpm a potência desenvolvida pela máquina é de 1400 kW. Dessa forma, fica comprovado que, um dos principais objetivos do projeto foi alcançado.

Figura 10 – Curva de torque da máquina simulada.



Fonte: Autoria própria.

Figura 11 – Curva de potência da máquina simulada.

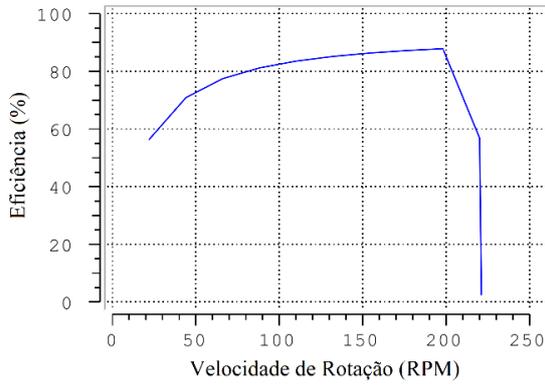


Fonte: Autoria própria.

A curva de eficiência é apresentada na Figura 12. A análise da figura mostra que a máquina apresenta boa eficiência para velocidades acima da nominal (100 rpm). Em relação ao fator de potência (FP), a análise da Figura 13 mostra que a máquina possui FP próximo a unidade em toda a faixa de velocidade de rotação considerada. Essa também é uma característica das máquinas a ímãs permanentes.

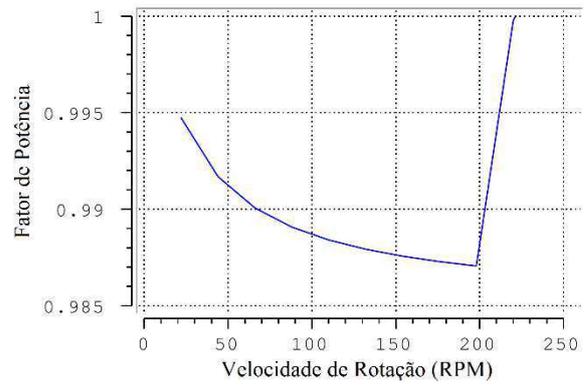
As perdas ôhmicas e magnéticas são mostradas na Figura 14 e Figura 15 respectivamente. Nota-se que as perdas ôhmicas são constantes, enquanto as perdas magnéticas têm crescimento linear. Isso ocorre devido ao crescimento também linear da tensão, mostrado na Figura 16.

Figura 12 – Curva de eficiência da máquina simulada.



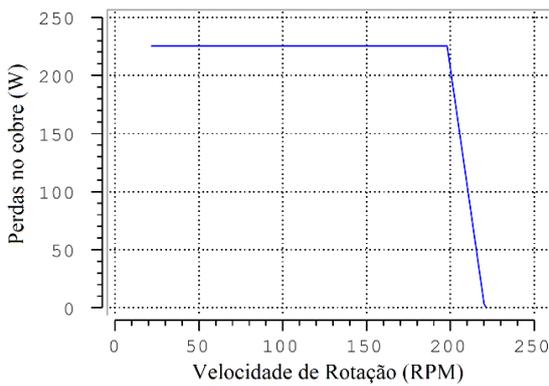
Fonte: Autoria própria.

Figura 13 – Curva de fator de potência da máquina simulada.



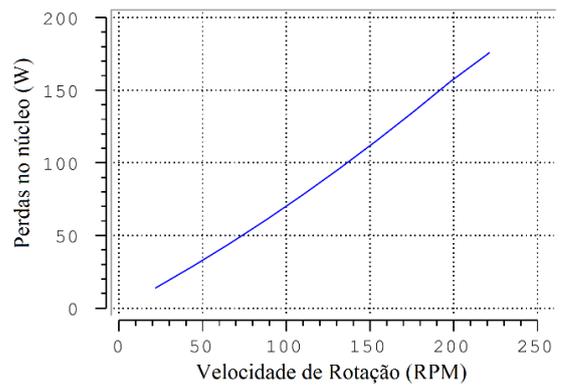
Fonte: Autoria própria.

Figura 14 – Curva das perdas no cobre da máquina simulada.



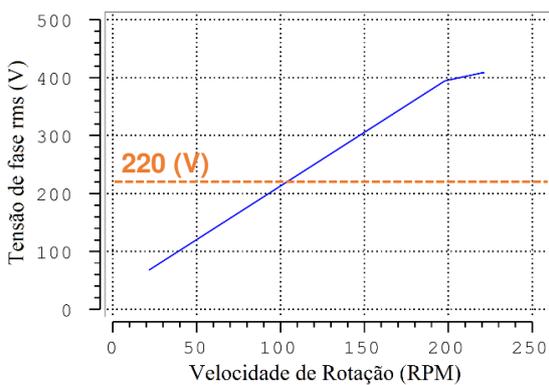
Fonte: Autoria própria.

Figura 15 – Curva das perdas magnéticas da máquina simulada.



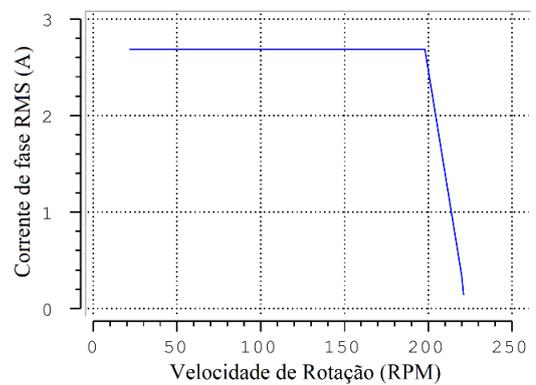
Fonte: Autoria própria.

Figura 16 - Curva da tensão de fase da máquina simulada.



Fonte: Autoria própria.

Figura 17 - Curva da corrente de fase da máquina simulada.



Fonte: Autoria própria.

Analisando a Figura 16, nota-se ainda que na velocidade nominal a tensão induzida de fase é de 220 V, atendo assim mais um dos objetivos do projeto. Por fim, Figura 17 mais a característica da corrente de fase da máquina, a qual tem comportamento constante, justificando assim as perdas ôhmicas constantes descritas anteriormente.

As curvas características da máquina corroboram os resultados obtidos no dimensionamento analítico, uma vez que todos os parâmetros retornados pelo software são muito próximos daqueles desejados no projeto. Além disso, na curva potência versus velocidade de rotação é mostrado que na velocidade nominal a máquina gera a potência desejada, atendendo assim, o principal objetivo do projeto. Portanto, o modelo proposto atende plenamente todos os requisitos e especificações estabelecidos inicialmente.

De maneira complementar, uma comparação entre os principais parâmetros obtidos na simulação, com aqueles do dimensionamento analítico, é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre os parâmetros analíticos e aqueles obtidos na simulação.

Parâmetro	Valor		Desvio (%)
	Simulação	Dimensionamento analítico	
Densidade de corrente (A/mm ²)	5,214	5	4,10
Eficiência (%)	82,46	83,80	1,63
Fator de potência	0,989	0,970	1,92
Perdas no cobre (W)	225,4	194,245	13,82
Perdas no ferro (W)	70,23	27,648	60,63
Tensão de fase (V)	213	220	3,29
Massa total (kg)	32	31	3,12

Fonte: Autoria própria.

A análise da Tabela 2 mostra que, de maneira geral os resultados obtidos analiticamente coincidem com os dados retornados pela simulação. A única discrepância acontece para as perdas no ferro, em que houve um desvio de 60%. A explicação para o fato é que no cálculo analítico foi considerado a utilização do ferrosilício tipo E110, que é um material de baixas perdas. Já no *software* de simulação as propriedades do material ferromagnético considera um modelo genérico, o qual não pode ter suas propriedades modificadas pelo usuário. Esse modelo apresenta propriedades de perdas maiores que o E110. Por isso, as perdas magnéticas na simulação são bem maiores que na determinação analítica.

4 CONCLUSÃO

O estágio realizado permitiu ao aluno adquirir e desenvolver novas habilidades, antes desnecessárias no ambiente acadêmico. Estudos de viabilidade econômica, pesquisas de mercado e o trabalho em uma equipe multidisciplinar são atividades que extrapolam os limites dos conteúdos explorados em sala de aula. O período também foi uma oportunidade para a aquisição de novos conhecimentos nas áreas de máquinas elétricas e energias renováveis.

Por outro lado, as atividades realizadas pelo aluno contribuíram de maneira relevante para empresa. O dimensionamento da máquina realizado permitirá a conclusão de um projeto que tem grande importância para a mesma. Por todos esses aspectos, considera-se que o estágio foi realizado de maneira exitosa, cumprindo o papel esperado na formação profissional do aluno.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília. 2003.

MADANI, N. **Design of a Permanent Magnet Synchronous Generator for a vertical Axis Wind Turbine**. School of Electrical Engineering, Royal Institute of Technology. Stockholm, p. 99. 2011.

MILLER, T. J. E. **Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives**. Oxford: Oxford University Press, 1989.

SATRIX. Aerogeradores. **Sítio da empresa Satrix**, 2015. Disponível em: <<http://www.satrix.com.br/#!/aerogeradores/c17js>>. Acesso em: 22 de julho de 2015.

SUNA ENGENHARIA. Nossa história. **Sítio da empresa Suna Engenharia**, 2015. Disponível em: <www.sunaengenharia.com.br>. Acesso em: 22 de julho 2015.