

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVOS DA ÁREA
DE ENERGIA PARA *TABLETES*

Simulador de Uma Máquina Síncrona de Polos Salientes



FELIPE KENNDY MATSUZAKI

VICTOR AUGUSTO DE TOLEDO ARRUDA

SÃO PAULO

2013

FELIPE KENNDY MATSUZAKI

VICTOR AUGUSTO DE TOLEDO ARRUDA

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVOS DA ÁREA DE ENERGIA PARA *TABLETES*

SIMULADOR DE UMA MÁQUINA SÍNCRONA DE POLOS SALIENTES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro Eletricista pela Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo.

Orientador: Prof. Dr. José Aquiles
Baesso Grimoni

Coordenador: Prof. Dr. Eduardo
Lorenzetti Pellini

SÃO PAULO

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Matsuzaki, Felipe Kenndy

**Desenvolvimento de aplicativos da área de energia para tablets:
simulador de uma máquina síncrona de polos salientes / F.K.**

Matsuzaki, V.A.T. Arruda. -- São Paulo, 2013.

86 p.

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação
Elétricas.**

**1.Máquinas síncronas 2.Aplicativos para tablets Android 3.Tran-
sitório eletromecânico 4.Simulação I. Arruda, Victor Augusto de Toledo
II.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia de Energia e Automação Elétricas III.t.**

FELIPE KENNDY MATSUZAKI
VICTOR AUGUSTO DE TOLEDO ARRUDA

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVOS DA ÁREA DE ENERGIA PARA *TABLETES*

SIMULADOR DE UMA MÁQUINA SÍNCRONA DE POLOS SALIENTES

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro Eletricista pela Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo.

Orientador: Prof. Dr. José Aquiles
Baesso Grimoni
Coordenador: Prof. Dr. Eduardo
Lorenzetti Pellini

Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni – Orientador.

Prof. Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini – Coordenador.

Dedico este trabalho a minha mãe Clarinda (in memorian), pela fundamental influência na pessoa em que tornei. Dedico também ao meu pai Toyoharu pela confiança e dedicação, às minhas tias Tieko e Helena pelo suporte incondicional, e à minha namorada Simone por me motivar sempre.

Felipe Kenndy Matsuzaki

Dedico este trabalho a minha família e namorada.

Victor Augusto de Toledo Arruda

AGRADECIMENTOS

Ao nosso orientador Professor Dr. José Aquiles Baesso Grimoni pelo suporte, disponibilidade e confiança.

Ao Professor Dr. Eduardo Lorenzetti Pellini por nos ajudar esclarecendo dúvidas e nos motivando, além de ter sido um co-orientador deste projeto.

Aos nossos pais, Toyoharu Matsuzaki e Clarinda Matsuzaki, Miguel Arruda e Teresa Arruda pela dedicação e por sempre nos apoiarem nos momentos difíceis.

Aos nossos amigos e namoradas, pela compreensão da nossa ausência.

“Quando se está aprendendo, o professor atua apenas como uma agulha; o aluno é a linha. Como seu mentor, posso ajudá-lo, apontando-lhe a direção correta. Mas, como a agulha da linha, devo me separar de você no fim, porque a força, a fibra e a capacidade de juntar todas as partes devem ser suas.”

(SECRETAN, Lance H. K. Os Passos do tigre)

SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.

| | |
|-----------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas. |
| ADT | Android Developer Tools. |
| Android | Sistema Operacional Android. |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica. |
| apps | Aplicativos. |
| EPA | <i>Environmental Protection Agency</i> , Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. |
| IDC Brasi | International Data Corporation Brasil. |
| IDE | <i>Integrated Development Environment</i> , ambiente integrado para desenvolvimento de software. |
| IEC | <i>International Electrotechnical Commission</i> , Comissão Eletrotécnica Internacional. |
| iOS | Sistema Operacional da Apple Inc. |
| ISO | <i>Independent System Operator</i> , Operador de rede independente. |
| PEA | Departamento de Engenharia de Energia e Automação. |
| SDK | <i>Software Development Kit</i> , Kit de Desenvolvimento de Software. |
| UI | <i>User Interface</i> , Interface do utilizador. |
| kWh | Quilowatt-hora. |
| E_f | Distribuição de tensões induzidas [V] |
| H | Constante de inércia [MW.s/MVA] |
| I_a | Corrente de armadura [A] |
| I_d | Corrente de eixo direto [A] |
| I_q | Corrente de eixo em quadratura [A] |
| j | Unidade imaginária |
| J | Momento de inércia combinado do gerador e turbina [kg.m ²] |
| M | Coefficiente de inércia do gerador [J/rad] |

| | |
|------------------------|--|
| P | Potência elétrica ativa [W] |
| P_m | Potência mecânica no eixo da turbina [W] |
| P_s | Potência sincronizante |
| pu | Valor por unidade |
| Q | Potência reativa [var] |
| R_a | Resistência do enrolamento de armadura [Ω] |
| S | Potência aparente [VA] |
| t | Tempo [s] |
| T_e | Torque eletromagnético [N.m] |
| T_m | Torque mecânico [N.m] |
| T_s | Torque sincronizante [N.m] |
| VA_{base} | Potência aparente do gerador [MVA] |
| V_t | Tensão terminal [V] |
| x_d | Reatância síncrona segundo eixo direto [Ω] |
| x_q | Reatância síncrona segundo eixo em quadratura [Ω] |
| δ | Ângulo de carga [rad] |
| $\delta_{m\acute{a}x}$ | Ângulo máximo [rad] |
| ω_m | Velocidade angular do rotor [rad/s] |
| ω_s | Rotação síncrona |

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi pesquisar, projetar e desenvolver um aplicativo para tablete direcionado à área de energia e automação.

Esse aplicativo visa facilitar o aprendizado de temas ligados à área de energia e automação, e assim abrir portas para que novos aplicativos desse tipo sejam criados inovando o ensino e aprendizado dentro da engenharia. Partindo desse princípio desenvolvemos um aplicativo que faça a simulação do comportamento de uma máquina síncrona de polos salientes trabalhando em regime permanente e ligada a um barramento infinito.

Através de uma interface gráfica de fácil utilização é possível ter uma análise gráfica do comportamento da máquina durante o transitório eletromecânico, este causado pelas alterações dos valores da corrente de excitação e de potência mecânica injetada imposta pelo usuário.

ABSTRACT

The purpose of this work was to research, design and develop an application for tablet directed to the area of energy and automation.

This application aims to facilitate the process of learning topics related in the field of power systems and control, and thus open doors for newer applications of this kind generating innovation in teaching and learning of engineering. Based on this principle we developed an application that makes the simulation of a salient-pole synchronous machine operating in steady-state and connected to an infinite bus.

Through a user-friendly graphical interface is possible to have a graphical analysis of the machine behavior during the electromechanical transient, caused by the changes of the field current and mechanical power values that are placed by the user.

Sumário

| | |
|---|-----------|
| FICHA CATALOGRÁFICA | 3 |
| AGRADECIMENTOS..... | 6 |
| SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS. | 8 |
| RESUMO..... | 10 |
| ABSTRACT | 11 |
| TABELA DE FIGURAS | 14 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 16 |
| 2. OBJETIVOS | 17 |
| 3. JUSTIFICATIVA..... | 17 |
| 4. METODOLOGIA | 18 |
| 4.1. ETAPAS | 18 |
| 4.1.1. <i>Entrega do plano de trabalho.....</i> | <i>18</i> |
| 4.1.2. <i>Pesquisar aplicativos para tablete</i> | <i>18</i> |
| 4.1.2.1. IOS..... | 18 |
| Southwire® Voltage Drop Calculator HD | 18 |
| Southwire® Conduit Fill Calculator | 19 |
| Calculadora (custos de energia) | 19 |
| ABB motor optimizer | 20 |
| Home Master..... | 20 |
| Solar friend | 21 |
| SunPower® Monitoring - Solar Electric Home Energy Management System | 22 |
| 4.1.2.2. Android | 22 |
| Light Bulb Finder..... | 22 |
| Home Energy Performance | 23 |
| SolarMeter - GPS medida Solar | 24 |
| eMonitor | 25 |
| Live Monitoring Logic Energy | 26 |
| ISO Today..... | 27 |
| Philips LED Lamp Finder..... | 28 |
| Linhas elétricas B.T. Demo..... | 29 |
| Calculadora custos elétricos | 30 |
| 4.1.3. <i>Pesquisa sobre necessidades</i> | <i>31</i> |
| 4.1.4. <i>Aprendizado da linguagem</i> | <i>32</i> |
| 4.1.5. <i>Desenvolvimento parcial</i> | <i>33</i> |
| 4.1.6. <i>Programa.....</i> | <i>34</i> |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.1.7. | <i>Descrição dos cálculos</i> | 34 |
| | Lista de símbolos | 34 |
| | Equações do movimento | 36 |
| | Resolvendo a equação da oscilação..... | 39 |
| | Diagrama de blocos | 42 |
| 4.1.8. | <i>Aplicativo</i> | 43 |
| 4.1.8.1. | Tela de configuração..... | 43 |
| 4.1.8.2. | Tela do diagrama fasorial..... | 44 |
| 4.1.8.3. | Tela dos gráficos | 45 |
| 4.1.8.4. | Tela do ponto de operação | 46 |
| 4.1.8.5. | Tela Manual de instruções..... | 46 |
| 4.1.9. | <i>Comparação dos resultados simulados com os resultados calculados</i> | 47 |
| 4.1.10. | <i>Manual de Instruções</i> | 50 |
| 4.1.10.1. | Requisitos básicos..... | 50 |
| 4.1.10.2. | Programa | 50 |
| 4.1.11. | <i>Disponibilização para testes</i> | 54 |
| 5. | CRONOGRAMA | 55 |
| 5.1. | PRIMEIRO SEMESTRE..... | 55 |
| 5.2. | SEGUNDO SEMESTRE..... | 55 |
| 6. | CONCLUSÃO | 56 |
| 7. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 58 |
| 8. | APÊNDICES | 60 |
| 8.1. | APÊNDICE A..... | 60 |
| 8.1.2. | <i>Pergunta geral</i> | 60 |
| 8.1.3. | <i>Questionário voltado aos alunos da graduação do PEA</i> | 61 |
| 8.1.4. | <i>Questionário voltado aos alunos no mercado de trabalho</i> | 69 |
| 8.1.5. | <i>Questionário voltado aos professores da graduação do PEA</i> | 79 |
| 8.2. | APÊNDICE B | 86 |

TABELA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. - Voltage Drop HD - Inserção de parâmetros. | 19 |
| Figura 2. - Voltage Drop HD – Resultados. | 19 |
| Figura 3. - Conduit fill..... | 19 |
| Figura 4. - Motor optimizer | 20 |
| Figura 5. - Home Master | 21 |
| Figura 6. - Home Master - Hardware | 21 |
| Figura 7. - Solar Friend – Analysis. | 22 |
| Figura 8. - Solar Friend – Output. | 22 |
| Figura 9. - SunPower® Monitoring - Solar Electric Home Energy Management System..... | 22 |
| Figura 10. - Light Bulb Finder. | 23 |
| Figura 11. - Home Energy Performance - Advices and Information..... | 24 |
| Figura 12. - Home Energy Performance - Report. | 24 |
| Figura 13. - SolarMeter - GPS medida Solar - Live Data. | 25 |
| Figura 14. - SolarMeter - GPS medida Solar - Power. | 25 |
| Figura 15. - eMonitor - Circuits..... | 26 |
| Figura 16. - eMonitor - Costs per circuit..... | 26 |
| Figura 17. - Live Monitoring Logic Energy - Informações. | 27 |
| Figura 18. - Live Monitoring Logic Energy - Histórico. | 27 |
| Figura 19. - ISO Today - Supply and Demand. | 28 |
| Figura 20. - ISO Today - Renewable energy output. | 28 |
| Figura 21. - Philips LED Lamp Finder - Results. | 29 |
| Figura 22. - Philips LED Lamp Finder - Light Output. | 29 |
| Figura 23. - Linhas elétricas B.T. Demo - Compensação de reativos..... | 30 |
| Figura 24. - Linhas elétricas B.T. Demo - Dimensionamento de condutores. | 30 |
| Figura 25. - Linhas elétricas B.T. Demo - Dimensionamento de transformadores..... | 30 |
| Figura 26. - Calculadora custos elétricos. | 31 |
| Figura 27. - Diagrama fasorial da máquina síncrona de polos salientes. .. | 35 |
| Figura 28. - Rotor da máquina síncrona (8). | 36 |

| | |
|--|----|
| Figura 29. - Tela de boas-vindas. | 43 |
| Figura 30. - Tela de configuração..... | 44 |
| Figura 31. - Tela do diagrama fasorial. | 45 |
| Figura 32. - Tela dos gráficos. | 45 |
| Figura 33. - Tela dos gráficos - Seleção da grandeza. | 46 |
| Figura 34. - Tela do ponto de operação..... | 46 |
| Figura 35. - Diagrama blocos - Simulink. Autoria Própria..... | 47 |
| Figura 36. - Delta(t) ampliado- Simulink. | 48 |
| Figura 37. - Delta (t) em escala semelhante ao aplicativo – Simulink. | 48 |
| Figura 38. - Passo 1 – Configuração..... | 51 |
| Figura 39. - Passo 2 - Inserção dos parâmetros..... | 51 |
| Figura 40. - Tela Diagrama Fasorial..... | 52 |
| Figura 41. - Janela Gráficos. | 53 |
| Figura 42. - Selecionando a grandeza do Gráfico. | 53 |
| Figura 43. - Janela Ponto de Operação..... | 54 |

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o mercado de tablets no Brasil tem tido um crescimento contínuo e acelerado, de acordo com a consultoria especializada em tecnologia, *International Data Corporation* Brasil (IDC Brasil), as vendas de tablets no Brasil atingiu número recorde de vendas no segundo trimestre de 2012, comercializando 606 mil unidades entre os meses de abril e junho de 2012. Também estimaram que até 2013 seriam vendidos cerca de 5,4 milhões de unidades (1). A IDC também divulgou no dia 1º de maio de 2013, dados preliminares que apontam que do total de *tablets* vendidos 77% (2) tem o sistema operacional *Android*. Pedro Hagge, analista de mercado da IDC Brasil, disse "Desde que os *tablets* foram lançados, é um mercado que sempre aponta para números crescentes, ou seja, em nenhum trimestre houve queda. Com certeza é um dispositivo que colabora para a inclusão digital já que é boa alternativa para quem precisa consumir conteúdo e não produzir muita informação" (2), o que mostra um dos motivos pelos quais a venda de *tablets* no Brasil superaram a média mundial, colocando-o na décima posição (3) no ranking mundial do mercado de *tablets*.

No final de 2011, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) realizou um concurso chamado de "*The Apps for the Environment challenge*" que visava encorajar o setor privado de desenvolvimento de softwares e estudantes à criarem aplicativos (*apps*) inovadores que utilizassem os dados providos pela EPA para promover a proteção ao meio ambiente e à saúde humana. O vencedor na categoria Melhor Geral foi um aplicativo relacionado à eficiência energética. Este aplicativo ajuda os consumidores escolherem a lâmpada mais recomendada para sua necessidade.

Em vista desses fatos fomos motivados à desenvolver um aplicativo para tablets que utilizam o sistema *Android*, aplicativo este voltado para área de energia. Durante a fase inicial do nosso projeto fizemos pesquisas para determinar quais áreas dentro do tema energia que mais necessitam do auxílio ou que mais se beneficiariam de um *app* para tablete.

Após uma pequena busca pudemos ver que existem muitos aplicativos voltados à eficiência energética, a grande maioria voltados para o mercado norte americano e relacionado com empresas que atuam nesse mercado, visto que o mercado de tablets nos EUA é cerca de 12 vezes maior que o do Brasil (3). Portanto desejamos desenvolver um aplicativo voltado ao público brasileiro dentro do tema energia.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é pesquisar, projetar e desenvolver um aplicativo para tablete que seja direcionado na área de energia e automação. Após termos feito uma pesquisa de opinião, que será detalhada posteriormente, foi decidido que iríamos focar, mais especificamente, na área do ensino de energia e automação.

Dentro desse objetivo temos como meta interligar os conceitos adquiridos no decorrer de nossa formação, implementando assim um aplicativo (*app*) capaz de facilitar a vida do estudante de engenharia.

3. JUSTIFICATIVA

Com a crescente venda de tablets e smartphones o mercado de *apps* está também em ascensão, porém o mercado de aplicativos técnicos na área de energia e automação ainda é escasso.

Temos como objetivo criar um aplicativo inovador e que facilite o aprendizado de temas ligados à área de energia e automação. Para provar o conceito de que os aplicativos de tablets podem auxiliar o aprendizado desenvolveremos um aplicativo sobre máquinas síncronas. Essa nova ferramenta facilitará o estudo das máquinas síncronas de polos salientes e, além disso, poderá abrir portas para que esse novo método de aprendizado seja incorporado.

Esse *app* pode facilitar a vida dos engenheiros e principalmente estudantes, pois ele auxiliará no entendimento de conceitos dentro do curso de engenharia elétrica que geralmente são de difícil compreensão pelos métodos tradicionais de ensino em sala de aula.

Dentro desse trabalho de formatura aplicaremos conceitos de máquinas elétricas em conjunto com sistemas elétricos de potência, que após somados com a programação tornarão essa ideia realidade.

4. METODOLOGIA

4.1. Etapas

4.1.1. Entrega do plano de trabalho

Data zero do projeto, entrega do plano de trabalho.

4.1.2. Pesquisar aplicativos para tablete

Nesta primeira etapa pesquisamos os aplicativos em diversas áreas relacionadas à energia elétrica existentes no mercado, testaremos os mais relevantes e vimos seu funcionamento e qual seria uma boa área para desenvolvermos um aplicativo.

A seguir estão nossos comentários referentes aos aplicativos pesquisados em ambas plataformas, *iOS* e *Android*.

4.1.2.1. *IOS*

Southwire® Voltage Drop Calculator HD

Desenvolvido por: *Southwire Company*

Disponível em: <https://itunes.apple.com/ng/app/southwire-voltage-drop-calculator/id440357063?mt=8>

Área: instalações elétricas

A partir de dados impostos pelo usuário o *app* calcula a queda de tensão de um determinado cabo de energia. Além disso, o *app* também informa os valores de resistência, reatância, fator de potência, além de outros dados referentes à tensão.

Figura 1. - Voltage Drop HD - Inserção de parâmetros.

Figura 2. - Voltage Drop HD – Resultados.

Southwire® Conduit Fill Calculator

Desenvolvido por: Southwire Company

Disponível em: <https://itunes.apple.com/br/app/southwire-conduit-fill-calculator/id509204523?mt=8>

Área: instalações elétricas

Aplicativo que calcula o volume ocupado pelos fios dentro de um determinado conduíte. O aplicativo tem uma base de dados com os modelos da empresa southwire, a partir da escolha desses modelos e do tipo de condutor que irá dentro deles o programa calcula o espaço ocupado no conduíte.

Figura 3. - Conduit fill.

Calculadora (custos de energia)

Desenvolvido por: V PUGAZHENTHI

Disponível em: <https://itunes.apple.com/br/app/calculadora-custos-energia/id531132387?mt=8>

Esse aplicativo calcula o gasto de energia (dia, semana, mês, ano) e o uso de energia (dia, semana, mês, ano) a partir da inserção dos valores de consumo/hora, consumo/dia e custo do watt.

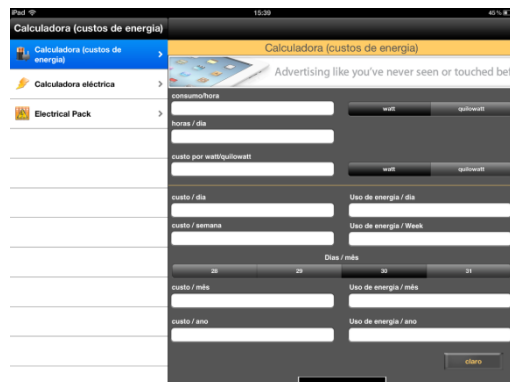


Figura 4. - Calculadora (custos de energia)

ABB motor optimizer

Desenvolvido por: *ABB Ltd.*

Disponível em: <https://itunes.apple.com/br/app/motor-optimizer/id564717742?mt=8>

Área: Motores elétricos

Esse aplicativo da empresa ABB permite ao usuário escolher dentre os modelos de motores da empresa. A partir da escolha do país, classe de eficiência, tipo de material, tipo de motor, número de polos, frequência, saída em kW, ele mostra os modelos disponíveis para essas características. Além disso ele pode comparar os custos de operação dos modelos, o tempo de retorno, além de outras funcionalidades.

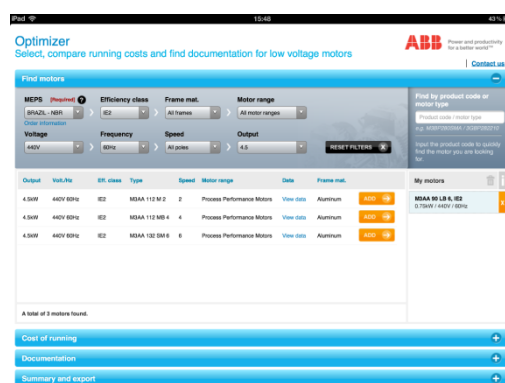


Figura 4. - Motor optimizer

Home Master

Desenvolvido por: *Think Simple S.p.a.*

Disponível em: <https://itunes.apple.com/br/app/home-master/id423989667?mt=8>

Área: Automação

Com esse aplicativo o usuário é capaz de controlar as lâmpadas e cortinas previamente configuradas por um sistema de wireless. Além disso, o aplicativo também informa em tempo real o consumo e o quanto de energia foi poupado.



Figura 5. - Home Master



Figura 6. - Home Master - Hardware

Solar friend

Desenvolvido por: *Bosch Solar Energy AG*

Disponível em:

(iOS)

<https://itunes.apple.com/br/app/solar-friend/id441719298?mt=8>

(Android)

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.bosch.solarfriend.controller>

Área: Projeto de instalações

Nesse aplicativo da empresa Bosch o usuário insere a área, o tipo de módulo, dentre os produzidos pela empresa, e o tempo de operação. A partir desses dados o programa calcula primeiramente a orientação em que o painel deve ser instalado e também o ângulo para a melhor incidência dos raios solares. Além disso, ele mostra também o número de módulos necessários, a energia produzida, economia gerada e taxa de CO2 não emitida.



Figura 7. - Solar Friend – Analysis.

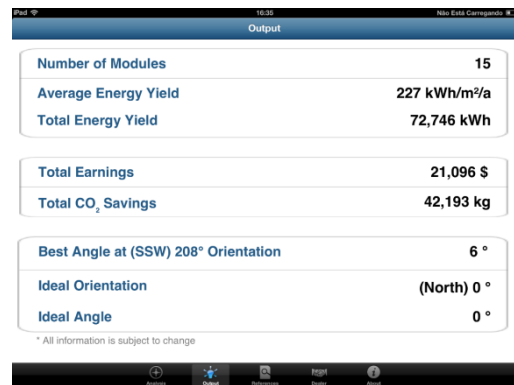


Figura 8. - Solar Friend – Output.

SunPower® Monitoring - Solar Electric Home Energy Management System

Desenvolvido por: *SunPower Corporation*

Disponível em: <https://itunes.apple.com/br/app/sunpower-monitoring-solar/id310746853?mt=8>

Área: Monitoramento de instalações.

Aplicativo feito para os usuários dos painéis solares da marca *SunPower*.

Neste aplicativo o usuário tem informações em tempo real do quanto de energia está sendo gerada, além de informações referentes ao uso.

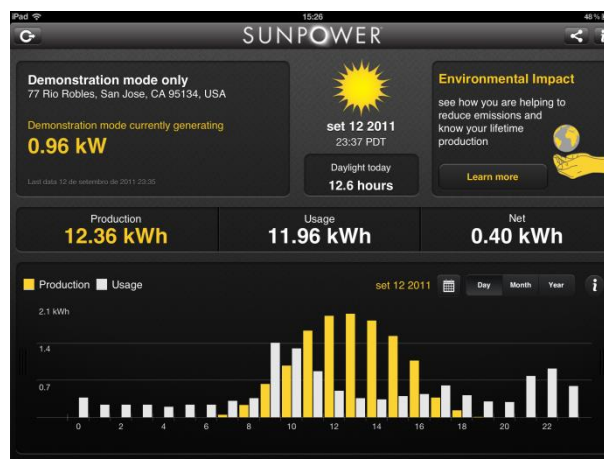


Figura 9. - SunPower® Monitoring - Solar Electric Home Energy Management System.

4.1.2.2. Android

Light Bulb Finder

Desenvolvido por: *Eco Hatchery*

Disponível em:

<<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.est.ecohatchery>>.

Preço: Gratuito.

Área: Eficiência energética.

Este aplicativo não está disponível no Brasil Ele foi o vencedor do desafio “*Apps for the Environment*” realizado pela *Environment Protection Agency* (EPA) na categoria *Best Overall App*.

Nele é possível escolher a lâmpada mais recomendada após o usuário escolher o tipo de soquete utilizado e tipo de instalação (embutida, direcionável) utilizada, ele sugere lâmpadas compatíveis e traz a informações tais como: preço estimado por lâmpada, tempo de *payback*, vida útil, quantidade de energia economizada e redução de CO₂ por ano, temperatura da cor da lâmpada, brilho em lumens e potência.

Depois da escolha é possível encomendar as lâmpadas através da internet, facilitando ainda mais a vida do usuário.

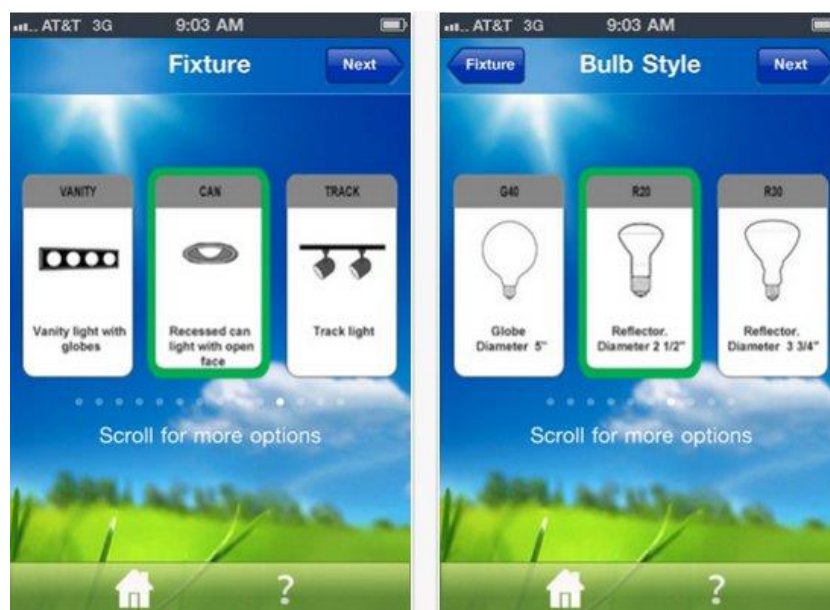


Figura 10. - Light Bulb Finder.

Home Energy Performance

Desenvolvido por: *Qreative Medias Ltd.*

Disponível em:

<<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.qreativemedias.app.rating.world>>.

Preço: R\$ 10,02.

Área: Monitoramento de instalações.

Este aplicativo possui um visual bem simples e não muito amigável, e basicamente funciona como uma calculadora para a geração de relatórios de consumo de uma residência ou comércio. O aplicativo possui um acervo de dicas e recomendações para a economia de energia, recomendações essas que são separadas por perfil de usuário.



Figura 11. - Home Energy Performance - Advices and Information.

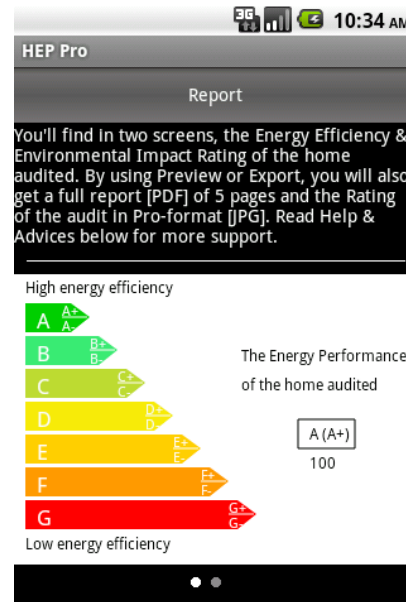


Figura 12. - Home Energy Performance - Report.

SolarMeter - GPS medida Solar

Desenvolvido por: *vistech.projects*.

Disponível em:

<<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vistechprojects.solar-meter>> .

Preço: R\$ 8,22.

Área: Projeto de instalações.

Este aplicativo é bem interessante e com uma interface simples e intuitiva. Nele é possível estimar a energia solar que pode ser gerada em seu telhado e torna seu tablete uma ferramenta de medição, ele se utiliza do GPS do aparelho para saber sua localização e incidência solar e através dos giroscópios do tablete ou celular é possível medir a inclinação do telhado de interesse simplesmente deixando o dispositivo apoiado no telhado. É possível também, através de um aplicativo terceirizado, medir a área disponível em seu telhado através de fotos de

satélite. A última parte do aplicativo faz os cálculos da economia gerada através da instalação dos painéis solares.



Figura 13. - SolarMeter - GPS medida Solar - Live Data.

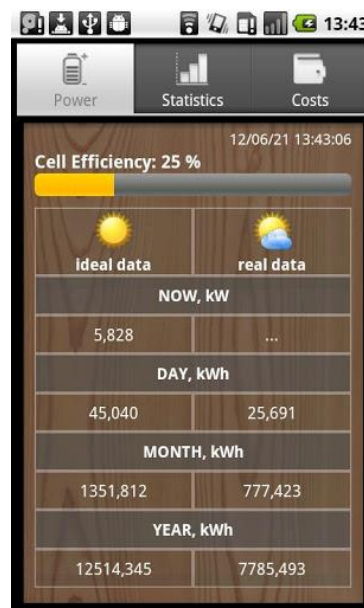


Figura 14. - SolarMeter - GPS medida Solar - Power.

eMonitor

Desenvolvido por: *Powerhouse Dynamics*.

Disponível em:

<<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.powerhousedynamics.emonitor>>.

Preço: Gratuito.

Área: Monitoramento de instalações.

Para se utilizar o *app* plenamente é necessário o Hardware eMonitor. No aplicativo é necessário fazer uma autenticação, mas é possível ter uma ideia das funções utilizando a opção “*Try it out*”, onde é exibido dados de uma instalação fictícia. Na página inicial é possível ver uma lista de circuitos/aparelhos dessa instalação e quanto está sendo consumido ou produzido naquele instante. Ao se clicar em um circuito específico é possível ver gráficos com o histórico de consumo, produção ou ambos do circuito em questão. Também é possível ver o custo da conta de luz discriminado por circuito. Uma função interessante é controlar remotamente termostatos compatíveis de diversos ambientes da instalação, somado à informação do consumo instantâneo de cada circuito é possível verificar

se há um conflito entre o sistema de refrigeração e o de calefação e resolvê-lo remotamente.



Figura 15. - eMonitor - Circuits.



Figura 16. - eMonitor - Costs per circuit.

Live Monitoring Logic Energy

Desenvolvido por: Logic Energy Ltd

Disponível em:

<<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.logicenergy>>.

Preço: Gratuito.

Área: Monitoramento de instalações.

Este aplicativo trabalha em conjunto com o aparelho *LeNET* que pode ser conectado a maioria dos medidores de energia do Reino Unido. O dispositivo *LeNET* envia através de internet ou GPRS os dados para servidores da *Logic Energy* onde os dados são guardados. O acesso aos dados pode ser feito através de um site ou aplicativos para plataformas móveis. Como os dados são atualizados a cada 10 minutos é possível fazer um monitoramento remoto em tempo real de uma propriedade.

Para se utilizar o aplicativo é necessário se logar ao servidor *Logic Energy* não sendo possível testar o aplicativo.

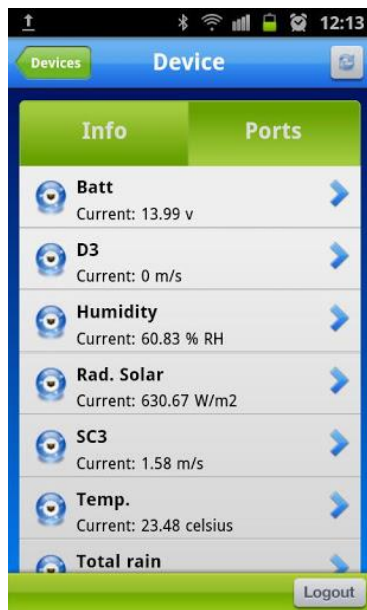


Figura 17. - Live Monitoring Logic Energy - Informações.

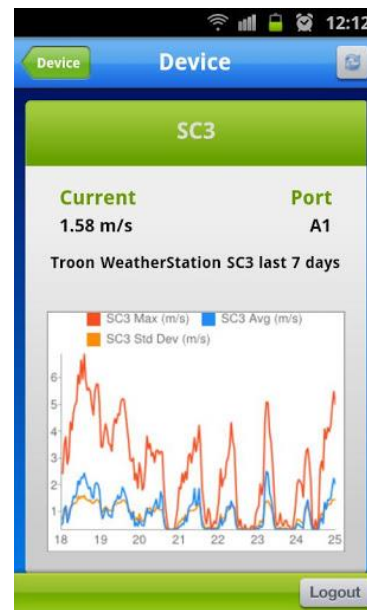


Figura 18. - Live Monitoring Logic Energy - Histórico.

ISO Today

Desenvolvido por: *California Independent System Operator*.

Disponível em:

< <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.caiso.IsoToday> >.

Preço: Gratuito.

Área: Monitoramento de instalações.

Disponibilizado pela California ISO, um ISO na América do norte é “*Independent System Operator*”, ela gerencia e controla a distribuição elétrica de uma rede em um estado ou região mesmo não sendo a “dona” da rede, uma espécie de concessão, neste caso o estado é o da Califórnia. Elas são reguladas federalmente assim como as concessionárias no Brasil são reguladas pela ANEEL. O aplicativo disponibiliza gráficos com as curvas de geração e demanda, assim como a geração discriminada por fontes tais como solar, biomassa, entre outras. Também há uma sessão de notícias e eventos relacionados à empresa.

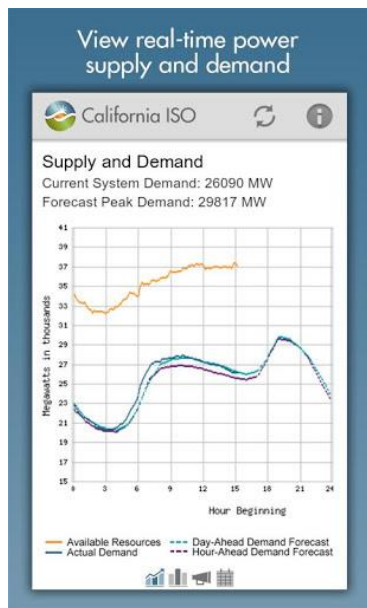


Figura 19. - ISO Today - Supply and Demand.

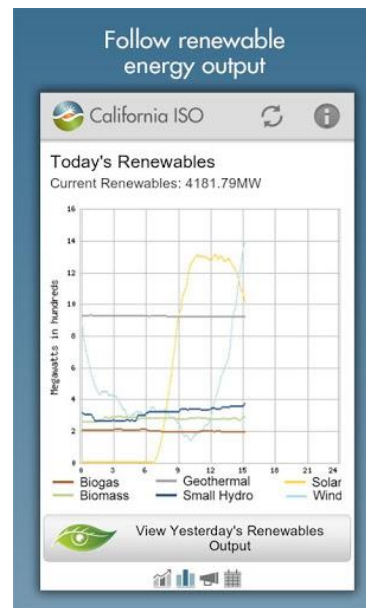


Figura 20. - ISO Today - Renewable energy output.

Philips LED Lamp Finder

Desenvolvido por: Philips

Disponível em:

<<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.philips.li.ledlampfinder>>.

Preço: Gratuito.

Área: Eficiência energética.

Este aplicativo é voltado para o público europeu, e não é nada mais que um catálogo de lâmpadas fabricadas pela Philips, nele é possível escolher as lâmpadas baseadas no soquete e luminosidade/potência desejados e montar uma lista de compras. Diferentemente do Light Bulb Finder, não é possível saber preço, nem realizar a encomenda das lâmpadas escolhidas.

Um dos pontos positivos é a aparência agradável do aplicativo.



Figura 21. - Philips LED Lamp Finder - Results.

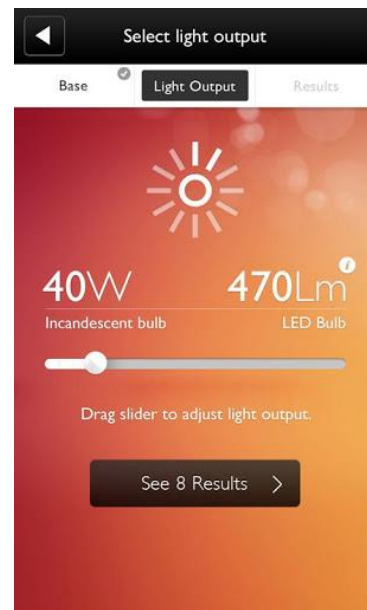


Figura 22. - Philips LED Lamp Finder - Light Output.

Linhas elétricas B.T. Demo

Desenvolvido por: *Carlos Tascón*.

Disponível em:

<<https://play.google.com/store/apps/details?id=es.iocamata.lineaselectricdemo>>.

Preço: Gratuito.

Área: Projeto de instalações.

Este aplicativo de demonstração auxilia no dimensionamento de cabos para distribuição em baixa tensão, de transformadores e de bancos capacitivos para compensação reativa. Na sessão de dimensionamento de cabos é possível escolher em quantas fases a distribuição será feita, se o cabo é de cobre ou alumínio, o tipo do cabo e do isolamento e também pelo tipo da instalação, esta restrita em aérea na versão de demonstração. Este dimensionamento da seção mínima do cabo é feita de acordo com a norma IEC 60364-5-52:2001 que é utilizada pela norma ABNT NBR 5410:2004. Em transformadores o usuário insere a tensão do primário e do secundário, a potência demandada e um grupo de até quatro transformadores em paralelo, estes podem ter suas potencias nominais e tensão de curto-circuito configuradas, assim o programa obtém as correntes no primário e secundário, a carga de cada transformador e a corrente de curto no

secundário de cada transformador. Para o dimensionamento da compensação reativa basta inserir o fator de potência desejado, o fator de potência atual da instalação e a potência ativa que o programa calcula instantaneamente a potência reativa necessária para a compensação.

De design pobre e um pouco confuso, no quesito aparência o aplicativo deixa a desejar, e o usuário deve utilizar os dados somente para uma estimativa pois são pouco precisos.



Figura 23. - Linhas elétricas B.T. Demo
- Compensação de reativos.



Figura 24. - Linhas elétricas B.T. Demo
- Dimensionamento de condutores.

| | | | | | | | | | |
|---|----|----------------------|---------|---|--------|--|------------|---|--|
|  | | V1: 5000 20000 | | Power [KVA]: | |  | |  | |
| | | V2: 6300 15000 20000 | | 109 | | | | | |
| Nom.Pow.[KVA]: | | | Vcc[%]: | | I1[A]: | I2[A]: | Pow.[KVA]: | Icc2[A]: | |
|  | 50 | 75 | 100 |  | 1.57 | 2.10 | 54.50 | 42.77 | |
|  | 50 | 75 | 100 |  | 1.57 | 2.10 | 54.50 | 42.77 | |
| TOTAL | | | 200.00 | | 3.15 | 4.20 | 109.00 | 85.53 | |

Figura 25. - Linhas elétricas B.T. Demo - Dimensionamento de transformadores.

Calculadora custos elétricos

Desenvolvido por: *Georg Kiefer*.

Disponível em:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=an.ElectricalCosts&feature=search_result>.

Preço: Gratuito.

Área: Calculadora.

Aplicativo extremamente simples, visa calcular custo do consumo de um aparelho baseado em sua potência, tempo de uso e preço do kWh. Possui também uma versão PRO ao custo de R\$ 2,00, que somente difere desta versão gratuita pela ausência de propagandas.

Figura 26. - Calculadora custos elétricos.

4.1.3. Pesquisa sobre necessidades

Para escolhermos corretamente o objetivo do nosso software, pesquisamos a opinião de profissionais da área, tais como professores, e colegas de curso sobre a necessidade de um aplicativo para tablete.

Fizemos esta pesquisa de opinião visando direcionar nosso projeto para uma área em que realmente seria útil o aplicativo que propomos. Essa pesquisa foi divulgada nos grupos de e-mail de alunos do PEA, enviada diretamente para os e-mails dos professores do PEA e enviada também para um grupo de ex-alunos do PEA. Com esse questionário obtivemos um total de 71 de respostas que possibilitou a análise a seguir. Transformamos a análise para a forma gráfica para facilitar a visualização dos dados. Estes gráficos estão no Apêndice A.

Baseado no que foi discutido com o orientador, o coordenador e considerando as respostas obtidas na pesquisa, chegamos à conclusão que há um maior interesse em um aplicativo dirigido à área de ensino.

No uso de ferramentas computacionais no auxílio do ensino temos como ótimo exemplo o trabalho de formatura do Prof. Pellini, que será estudado e incorporado no próximo relatório, pois além de tratar de uma ferramenta visual de ensino ele também está na faixa das matérias que apresentaram uma maior necessidade de ferramentas didáticas segundo a pesquisa feita.

Uma das perguntas que fizemos aos alunos que estagiam, alunos formados e aos professores foi quais softwares eles mais utilizam no dia-a-dia profissional e se havia carência de softwares em sua área.

Os softwares mais citados foram o *Matlab*, o pacote Office e outros softwares para simulação de sistemas elétricos, tais como o ATP *Alternative Transients* e o *Psim*. Sobre a carência, aparentemente não há carência de softwares, mas houve muitas respostas inconclusivas a essa pergunta.

4.1.4. Aprendizado da linguagem

Nesta segunda etapa estudamos os ambientes de desenvolvimento mais comuns para tablets e baseado neste estudo escolhemos o que melhor se aplica para desenvolvermos o aplicativo.

Se fez necessário o uso de um ambiente de desenvolvimento (IDE) e a consulta à apostilas e livros sobre o assunto. A própria Google disponibiliza gratuitamente o *Android SDK* (4) para o desenvolvimento de aplicativos para a plataforma *Android* e também disponibiliza apostilas e tutoriais para auxiliarem na criação de um *app* (5).

Um dos livros que pretendemos consultar é o *Aprenda a Desenvolver Aplicações para o Android* (6) e também, se for necessário, faremos um curso de 40 horas sobre o assunto.

Para desenvolver o aplicativo *Android* utilizaremos o *ADT Bundle (Android Developer Tools)*, disponibilizado gratuitamente para Windows.

O *ADT Bundle* é composto por :

- *Eclipse + ADT plug-ins*
- *Android SDK (Software Development Kit) Tools*
- *Android Platform-tools*
- A última plataforma *Android*
- E pela mais recente imagem do sistema *Android* para o emulador

Como *IDE (Integrated Development Environment)* utilizaremos o *Eclipse*, cuja linguagem utilizada é Java. No *Eclipse* junto aos *plug-ins ADT* é possível construir uma *UI (User Interface)* de forma simples, somente clicando e arrastando componentes como botões, caixas de texto, etc. O *Android SDK Tools* possui um emulador onde é possível emular qualquer aparelho que suporte o *Android*, o que é muito útil para o desenvolvimento e teste do aplicativo.

Juntamente com SDK, a própria Google (5) fornece lições e exercícios para o desenvolvimento do seu primeiro *app*. Lições que vão desde a instalação do *ADT Bundle* à distribuição e monetarização do seu aplicativo.

Para começar a construir o aplicativo, como primeira etapa, aprimoramos nossas habilidades de programação em Java cuja programação é orientada a objeto. Possuímos experiência em programação em linguagem C, que difere da linguagem Java por ser uma linguagem de programação procedural, mas uma das vantagens de se programar em Java é esta possuir uma sintaxe similar a C/C+.

Para esse aprimoramento utilizamos as apostilas de formação em Java disponibilizadas gratuitamente pela escola Caelum (7), juntamente com vídeo aulas e tutoriais encontrados na internet.

4.1.5. Desenvolvimento parcial

Após estudarmos os ambientes de desenvolvimento partimos para o desenvolvimento do aplicativo, começando por um diagrama de blocos do funcionamento do aplicativo assim como todas as funcionalidades e cálculos que o mesmo fará.

Com o nosso tema definido em ensino, buscamos com nosso coordenador qual seria o melhor tema e levando em conta a pesquisa feita decidimos pela área de máquinas elétricas.

Tendo esse enfoque, decidimos que desenvolveremos um programa sobre máquina síncronas de polos salientes e seu comportamento em regime permanente e seu transitório eletromecânico.

4.1.6. Programa

O programa que implementamos é o de Máquinas Síncronas de Polos salientes. Nesse programa é ilustrado o comportamento de uma máquina síncrona de polos salientes conectada a um barramento infinito. Nesse programa também é mostrado como varia o ângulo de carga e o fator de potência mediante a alteração dos dois controles da máquina: o controle de velocidade (manipulação da potência mecânica aplicada à turbina) e o controle de tensão (manipulação da corrente de excitação aplicada ao enrolamento rotórico).

4.1.7. Descrição dos cálculos

Nessa sessão listaremos as equações que serão utilizadas dentro do programa para o cálculo das grandezas envolvidas.

Lista de símbolos

| | |
|-------------------------|--|
| E_f – | Distribuição de tensões induzidas [V] |
| V_t – | Tensão terminal [V] |
| R_a – | Resistência do enrolamento de armadura [Ω] |
| I_a – | Corrente de armadura [A] |
| x_d – | Reatância síncrona segundo eixo direto [Ω] |
| x_q – | Reatância síncrona segundo eixo em quadratura [Ω] |
| I_d – | Corrente de eixo direto [A] |
| I_q – | Corrente de eixo em quadratura [A] |
| j – | unidade imaginária |
| δ – | Ângulo de carga [rad] |
| P – | Potência elétrica ativa [W] |
| P_m – | Potência mecânica no eixo da turbina [W] |
| Q – | Potência reativa [var] |
| S – | Potência aparente [VA] |
| $\delta_{\text{máx}}$ – | Ângulo máximo [rad] |

A equação que rege o diagrama fasorial é:

$$\mathbf{E}_f = \mathbf{V}_t + R_a \mathbf{I}_a + jx_d \mathbf{I}_d + jx_q \mathbf{I}_q \quad (1)$$

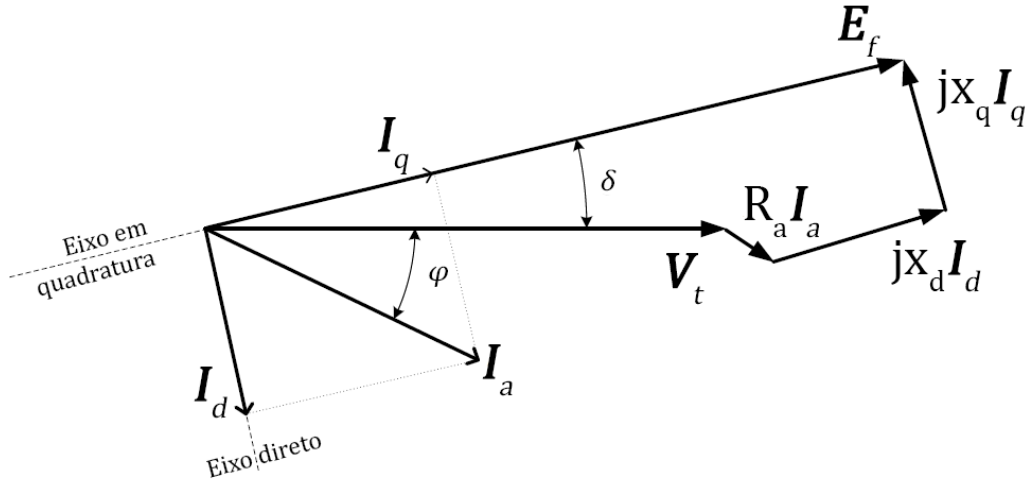


Figura 27. - Diagrama fasorial da máquina síncrona de polos salientes.

A partir dos parâmetros de entrada primeiramente calcularemos os valores de base, pois utilizaremos valores por unidade para o desenho do diagrama fasorial.

O segundo passo será obter I_a através de:

$$I_a = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3}V_{3\phi}} \quad (2)$$

Com I_a em mãos é possível obter o ângulo de carga δ através da equação:

$$\delta = \text{atan} \left(\frac{x_q I_a \cos \phi - R_a I_a \sin \phi}{V_t + R_a I_a \cos \phi + x_q I_a \sin \phi} \right) \quad (3)$$

Através do diagrama fasorial é possível observar que:

$$I_d = I_a \sin(\phi + \delta) \quad (4)$$

$$I_q = I_a \cos(\phi + \delta) \quad (5)$$

Assim é possível obter \mathbf{E}_f através da soma fasorial explicitada na equação (1).

As potências ativas e reativas são obtidas através das equações:

$$P = \left[\frac{E_f V_t x_q \sin \delta}{Z^2} + \frac{V_t^2 (x_d - x_q) \sin 2\delta}{2Z^2} + \frac{R_a V_t E_f \cos \delta}{Z^2} - \frac{R_a V_t^2}{Z^2} \right] \quad (6)$$

$$Q = \left[\frac{E_f V_t x_q \cos \delta}{Z^2} - \frac{V_t^2}{Z} \left(\frac{x_d \sin^2 \delta + x_q \cos^2 \delta}{Z} \right) - \frac{R_a E_f \sin \delta}{Z^2} \right] \quad (7)$$

Sendo

$$Z^2 = R_a^2 + x_q x_d \quad (8)$$

As equações (6) e (7) foram obtidas na bibliografia consultada.

Com os valores de P e Q obtemos a potência aparente S e o novo fator de potência $\cos\phi$.

Como modelaremos uma máquina não saturada, podemos considerar $E_f = I_f$ em pu, assim, utilizando os valores de base obtidos no 1º passo obtemos o valor de I_f em ampères.

Considerando a máquina como um gerador, temos que:

$$P_m = P + R_A(I_a)^2 \quad (9)$$

Para tornar o aplicativo mais interessante, implementaremos o transitório eletromecânico, assim quando houver uma mudança nos comandos de I_f ou P_m possamos observar as variações do ângulo de carga. Isto nos leva à seguinte sessão, onde abordamos o equacionamento dessa variação do δ .

Equações do movimento

Equação da oscilação

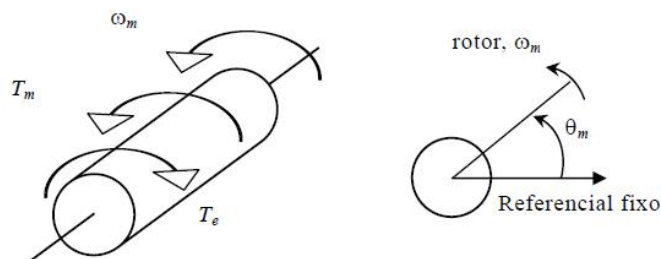


Figura 28. - Rotor da máquina síncrona (8).

Quando há um desequilíbrio entre os torques que agem sobre o rotor, o torque da rede causando uma aceleração (ou desaceleração) é:

$$T_s = T_m - T_e \quad (10)$$

Onde

T_s = torque sincronizante em [N.m]

T_m = torque mecânico em [N.m]

T_e = torque eletromagnético em [N.m]

Sendo T_m e T_e positivos no caso do gerador e negativos para o caso motor.

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_s = T_m - T_e \text{ (equação do movimento do rotor)} \quad (11)$$

Onde

$J = \text{Momento de inércia combinado do gerador e turbina } [kg.m^2]$

$\omega_m = \text{velocidade angular do rotor } [\frac{rad}{s}]$

$t = \text{tempo } [s]$

Como

$$P = T\omega \rightarrow J \cdot \omega_m \frac{d\omega_m}{dt} = P_s = P_m - P_e \quad (12)$$

Onde

$$J \cdot \omega_m = M = \text{coeficiente de inércia do gerador} [\frac{J}{rad}]$$

E P_s sendo a potência sincronizante:

$$P_s = \frac{E_f V_t}{x_d} \cos \delta + \frac{V_t^2 (x_d - x_q)}{x_d x_q} \cos 2\delta \quad (13)$$

O coeficiente de inércia varia bastante com o tamanho e tipo do gerador, por isso é utilizado a constante H que é definida sendo:

$$H = \frac{1}{2} \cdot \frac{J \omega_s^2}{VA_{base}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{M \omega_s}{VA_{base}} \quad (14)$$

Onde

$H = \text{constante de inércia } [\frac{MW.s}{MVA}]$

$\omega_s = \text{rotação síncrona } [\frac{rad}{s}]$

$VA_{base} = \text{potência aparente do gerador } [MVA]$

Tabela 1. - Valores típicos de H.

| Tipo de unidade geradora | H |
|--------------------------|--------------|
| Térmica | |
| 3600 RPM (2 polos) | 2,5 até 6,0 |
| 1800 RPM (4 polos) | 4,0 até 10,0 |
| Hidrogerador | 2,0 até 4,0 |

Fonte: Power System Stability and Control – table 3.2.

O momento de inércia J em função de H é:

$$J = \frac{2H}{\omega_s^2} \cdot VA_{base} \quad (15)$$

Substituindo J em função de H na equação do movimento do rotor tem-se:

$$\frac{2H}{\omega_s^2} V A_{base} \cdot \frac{d\omega_m}{dt} = T_m - T_e \quad (16)$$

Rearranjando

$$2H \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{\omega_m}{\omega_s} \right) = \frac{T_m - T_e}{\frac{V A_{base}}{\omega_s}} \quad (17)$$

Sendo

$$T_{base} = \frac{V A_{base}}{\omega_s} \quad (18)$$

Assim, a equação do movimento em pu fica:

$$2H \cdot \frac{d\bar{\omega}_r}{dt} = \bar{T}_m - \bar{T}_e \quad (19)$$

Na equação acima,

$$\bar{\omega}_r = \frac{\omega_m}{\omega_s} \quad (20)$$

Se δ é a posição angular do rotor em radianos em relação à um eixo de referência que gira com velocidade síncrona e δ_0 é o valor de δ em $t = 0$

$$\delta = \omega_r t - \omega_s t + \delta_0 \quad (21)$$

Derivando em relação ao tempo

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_r - \omega_s = \Delta\omega_r \quad (22)$$

E

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{d(\Delta\omega_r)}{dt} = \omega_s \cdot \frac{d\bar{\omega}_r}{dt} = \omega_0 \cdot \frac{d(\Delta\bar{\omega}_r)}{dt} \quad (23)$$

Assim a equação do movimento em pu fica:

$$\frac{2H}{\omega_s} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = \bar{T}_m - \bar{T}_e \quad (24)$$

Levando em consideração uma componente de atrito proporcional à rotação temos, sendo os torque em pu.

$$\frac{2H}{\omega_s} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = \bar{T}_m - \bar{T}_e - \bar{T}_a \quad (25)$$

$$T_a = K_D \Delta\bar{\omega}_r \quad \text{componente de atrito} \quad (26)$$

$$\Delta\bar{\omega}_r = \frac{\Delta\omega_r}{\omega_s} = \frac{1}{\omega_s} \cdot \frac{d\delta}{dt} \quad (27)$$

Mas no nosso caso é interessante trabalhar com os valores reais de potência, assim sendo:

O coeficiente de inércia do gerador em função de H:

$$M = \frac{2H}{\omega_s} \cdot VA_{base} \quad (28)$$

$$\boxed{\frac{2H}{\omega_s} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} + K_D \cdot \frac{d\delta}{dt} = P_s = P_m - P_e} \quad (29)$$

A equação em destaque é conhecida como “*swing equation*” porque representa a oscilação do ângulo de carga durante perturbações.

A equação diferencial de 2ª ordem (29) pode ser expressa na forma de 2 equações de 1ª ordem, ficando:

$$\frac{d\Delta\bar{\omega}_r}{dt} = \frac{1}{2H} (\bar{T}_m - \bar{T}_e - K_D\Delta\bar{\omega}_r) \rightarrow \frac{d\omega_m}{dt} = \frac{\omega_s}{2H} (P_m - P_e - K_D(\omega_m - \omega_s)) \quad (30)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_s\Delta\bar{\omega}_r = (\omega_m - \omega_s) \quad (31)$$

Equações que podem ser expressas como um diagrama de blocos na forma de:

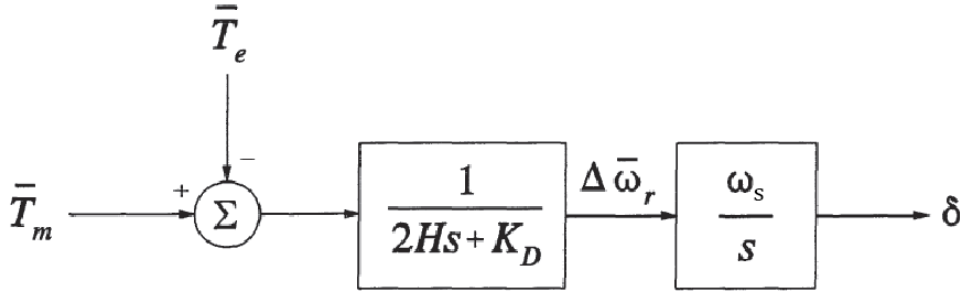


Diagrama de Blocos 1. - Retirado da bibliografia. (8)

Implementando esse diagrama no nosso programa podemos resolver a equação da oscilação através de algum método numérico, como por exemplo o Método de Euler modificado, ou o Método do ponto médio.

Resolvendo a equação da oscilação

Para a resolução da equação diferencial de 2ª ordem (29) utilizamos o método de Runge-Kutta de 4ª ordem (“clássico”), por ser utilizado frequentemente em simulações de sistemas dinâmicos e por ser muito estável quando comparado aos de menor ordem (9), e suas equações são:

$$k_1 = \Delta t \cdot f(y_n, t_n) \quad (32)$$

$$k_2 = \Delta t \cdot f\left(y_n + \frac{1}{2}k_1, t_n + \frac{1}{2}\Delta t\right) \quad (33)$$

$$k_3 = \Delta t \cdot f\left(y_n + \frac{1}{2}k_2, t_n + \frac{1}{2}\Delta t\right) \quad (34)$$

$$k_4 = \Delta t \cdot f(y_n + k_3, t_n + \Delta t) \quad (35)$$

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (36)$$

A equação (29), como já explicado, pode ser expressa na forma de duas equações diferenciais de 1ª ordem, ficando:

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{\omega_s}{2H}(P_m - P_e - K_D(\omega_m - \omega_s)) = f(x_0, y_0, z_0) \quad (37)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_s \Delta \bar{\omega}_r = (\omega_m - \omega_s) = g(x_0, y_0, z_0) \quad (38)$$

De acordo com a derivação do método de Runge-Kutta, que é necessária para a resolução de duas equações diferenciais simultâneas (10), chegamos em:

$$y_1 = y_0 + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (39)$$

$$e \quad z_1 = z_0 + \frac{1}{6}(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4) \quad (40)$$

$$onde \quad k_1 = f(x_0, y_0, z_0) \cdot h \quad (41)$$

$$l_1 = g(x_0, y_0, z_0) \cdot h \quad (42)$$

$$k_2 = f\left[\left(x_0 + \frac{h}{2}\right), \left(y_0 + \frac{k_1}{2}\right), \left(z_0 + \frac{l_1}{2}\right)\right] \cdot h \quad (43)$$

$$l_2 = g\left[\left(x_0 + \frac{h}{2}\right), \left(y_0 + \frac{k_1}{2}\right), \left(z_0 + \frac{l_1}{2}\right)\right] \cdot h \quad (44)$$

$$k_3 = f\left[\left(x_0 + \frac{h}{2}\right), \left(y_0 + \frac{k_2}{2}\right), \left(z_0 + \frac{l_2}{2}\right)\right] \cdot h \quad (45)$$

$$l_3 = g\left[\left(x_0 + \frac{h}{2}\right), \left(y_0 + \frac{k_2}{2}\right), \left(z_0 + \frac{l_2}{2}\right)\right] \cdot h \quad (46)$$

$$k_4 = f[(x_0 + h), (y_0 + k_3), (z_0 + l_3)] \cdot h \quad (47)$$

$$l_4 = g[(x_0 + h), (y_0 + k_3), (z_0 + l_3)] \cdot h \quad (48)$$

Resultando em:

$$\Delta \delta_{i(t+\Delta t)} = \frac{1}{6}(k_{1i} + 2k_{2i} + 2k_{3i} + k_{4i}) \quad (49)$$

$$\Delta \omega_{mi(t+\Delta t)} = \frac{1}{6}(l_{1i} + 2l_{2i} + 2l_{3i} + l_{4i}) \quad (50)$$

No nosso aplicativo usamos $h = 0.005$ s e $(x_0, y_0, z_0) = (P_s(\delta), \delta, \omega_m)$.

Ficando:

$$k_1 = (\omega_{m_i} - \omega_s) \cdot h \quad (51)$$

$$l_1 = \left(\frac{\omega_s}{2H}\right) \cdot [(P_t - P_e) - K_D(\omega_{m_i} - \omega_s)] \cdot h \quad (52)$$

$$k_2 = (\omega_{m_i} + \frac{l_1}{2} - \omega_s) \cdot h \quad (53)$$

$$l_2 = \left(\frac{\omega_s}{2H}\right) \cdot [(P_t - P_e) - K_D(\omega_{m_i} + \frac{l_1}{2} - \omega_s)] \cdot h \quad (54)$$

$$k_3 = (\omega_{m_i} + \frac{l_2}{2} - \omega_s) \cdot h \quad (55)$$

$$l_3 = \left(\frac{\omega_s}{2H}\right) \cdot [(P_t - P_e) - K_D(\omega_{m_i} + \frac{l_2}{2} - \omega_s)] \cdot h \quad (56)$$

$$k_4 = (\omega_{m_i} + l_3 - \omega_s) \cdot h \quad (57)$$

$$l_4 = \left(\frac{\omega_s}{2H}\right) \cdot [(P_t - P_e) - K_D(\omega_{m_i} + l_3 - \omega_s)] \cdot h \quad (58)$$

$$\delta_{i+1} = \delta_i + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \quad (59)$$

$$\omega_{m_{i+1}} = \omega_{m_i} + \frac{1}{6}(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4) \quad (60)$$

Diagrama de blocos

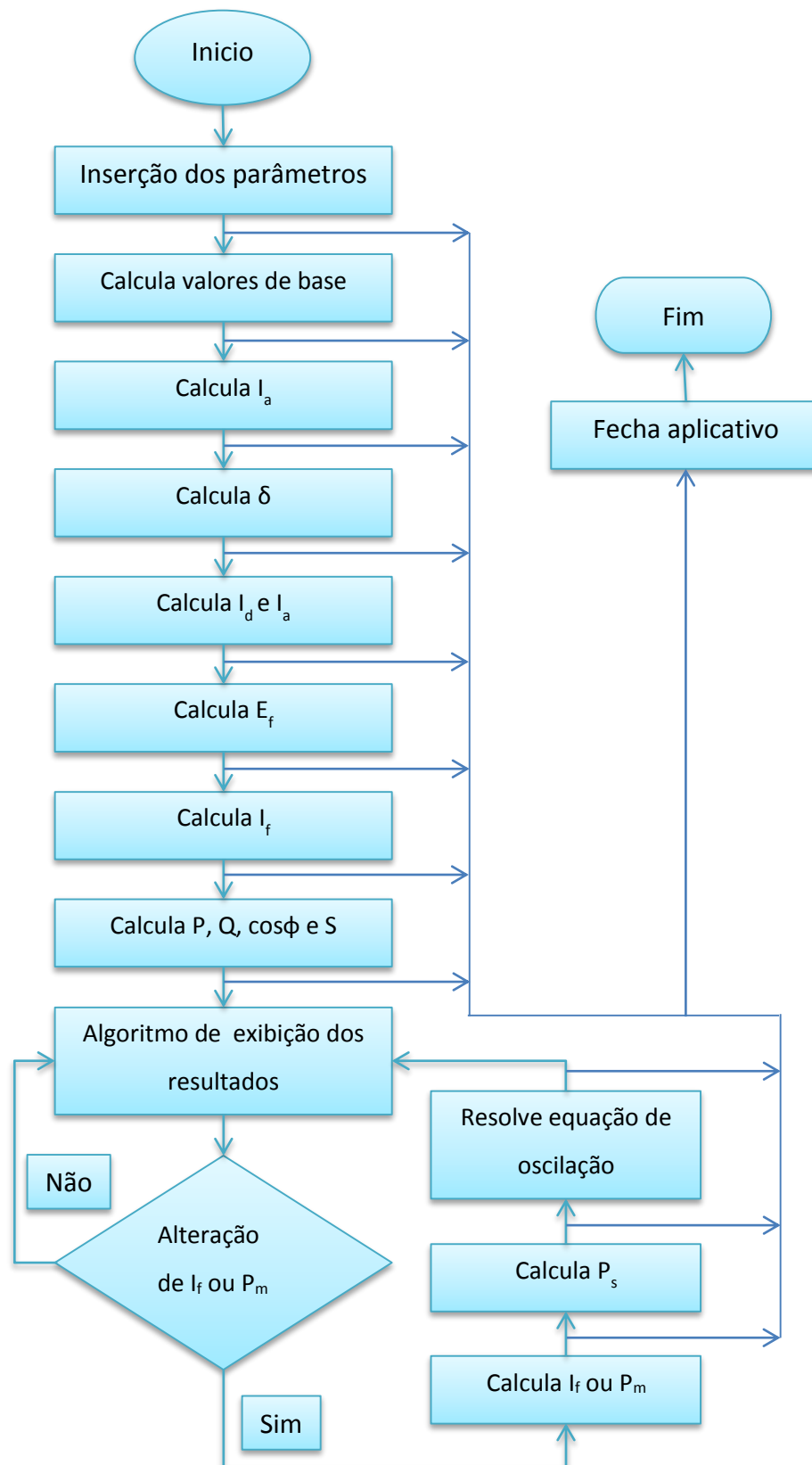


Diagrama de Blocos 2. - Diagrama de blocos do programa.

4.1.8. Aplicativo

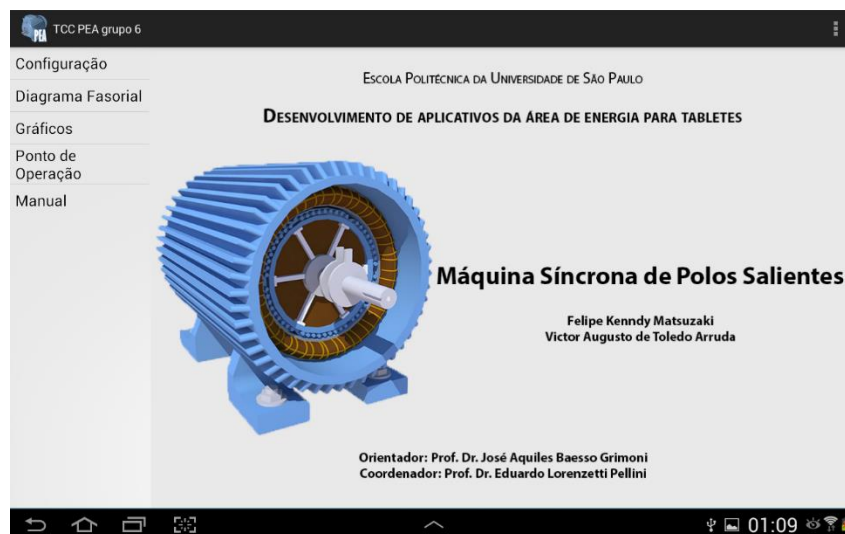


Figura 29. - Tela de boas-vindas.

Iniciaremos a descrição da versão final do aplicativo a partir da interface visual.

Nosso programa final ficou composto por cinco telas:

- Configuração.
- Diagrama fasorial:
- Gráficos das magnitudes em relação ao tempo
- Ponto de operação
- Manual

4.1.8.1. Tela de configuração

Na tela de configuração o usuário pode variar os parâmetros da máquina que será simulada, dentre os parâmetros temos:

- Tensão nominal.
- Potência nominal.
- Rotação nominal.
- Corrente de excitação.
- Tensão de excitação.
- Fator de potência.
- Constante de inércia
- Reatância síncrona segundo eixo direto.
- Reatância síncrona segundo eixo em quadratura.
- Resistência do enrolamento de armadura.

Há valores padrão de uma máquina síncrona que conseguimos com uma empresa do setor, mas infelizmente não nos foi permitido divulgar o fabricante e local onde é utilizada.

Após a inserção dos parâmetros o usuário clica no botão inicia para que os dados sejam armazenados.

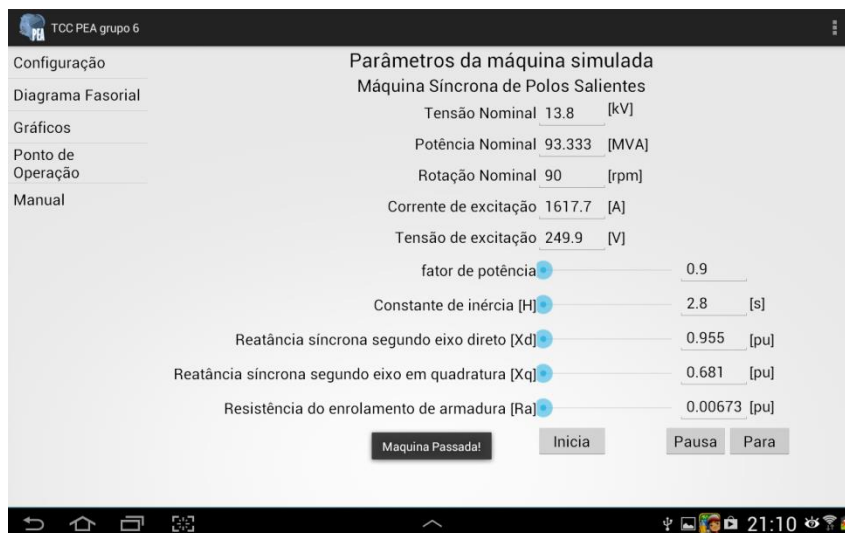


Figura 30. - Tela de configuração.

4.1.8.2. Tela do diagrama fasorial

Nesta tela é possível observar o diagrama de fasores da máquina em regime permanente, com os respectivos valores dos componentes.

O usuário pode alterar os valores de entrada da corrente de campo e a potência mecânica injetada pela turbina, esses valores podem ser alterados a partir do dois *sliders* abaixo do diagrama.

No campo direto da tela temos botões para o usuário escolher quais grandezas são exibidas e em qual unidade, se em *pu* ou valores reais.

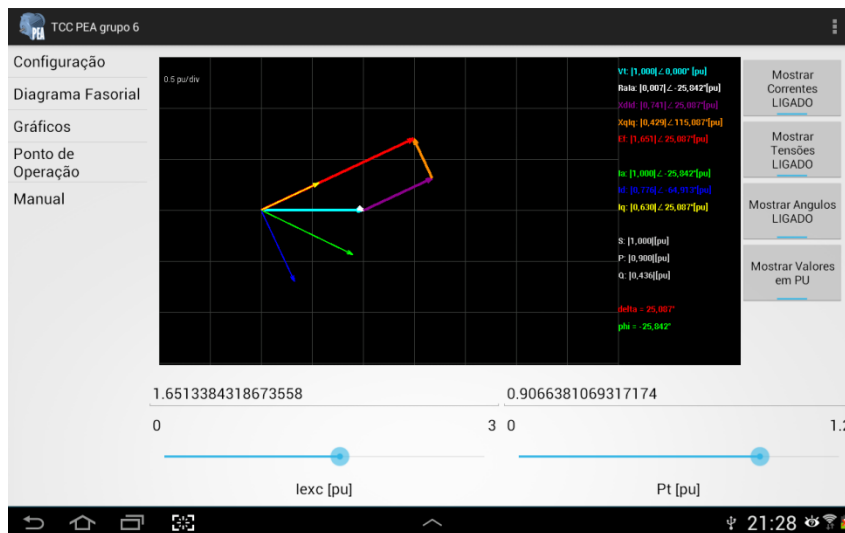


Figura 31. - Tela do diagrama fasorial.

4.1.8.3. Tela dos gráficos

Nessa tela temos gráficos dos módulos das grandezas em função do tempo em forma de um “*stripchart*”. Novamente temos *sliders* abaixo do gráfico para a variação dos valores de entrada e também os botões para selecionar quais grandezas são exibidas no gráfico.

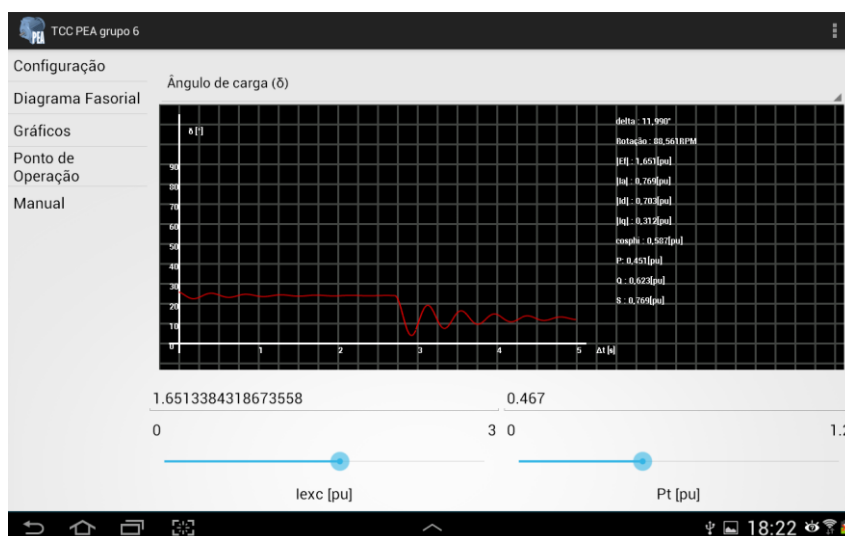


Figura 32. - Tela dos gráficos.



Figura 33. - Tela dos gráficos - Seleção da grandeza.

4.1.8.4. Tela do ponto de operação

Nesta tela podemos analisar a evolução do ponto de operação com a variação dos valores de entrada.

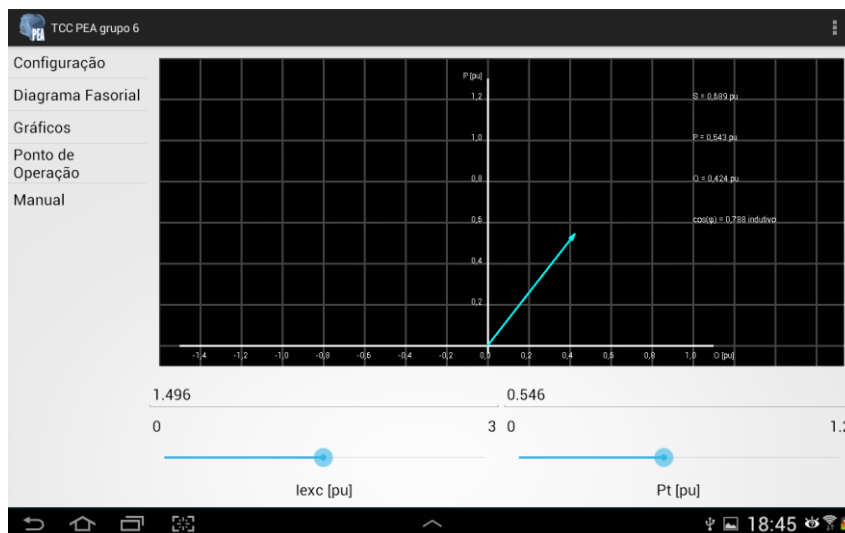


Figura 34. - Tela do ponto de operação.

4.1.8.5. Tela Manual de instruções

Nesta tela temos um manual de instruções onde o usuário pode sanar eventuais dúvidas com relação ao funcionamento do programa.

4.1.9. Comparação dos resultados simulados com os resultados calculados

Para verificar a validade dos dados gerados por nosso simulador, criamos um modelo no programa *MatLab R2013a* através de um diagrama de blocos no *Simulink*.

Esse diagrama se baseia nos modelos encontrados na bibliografia consultada e na própria documentação do *MatLab* (11)

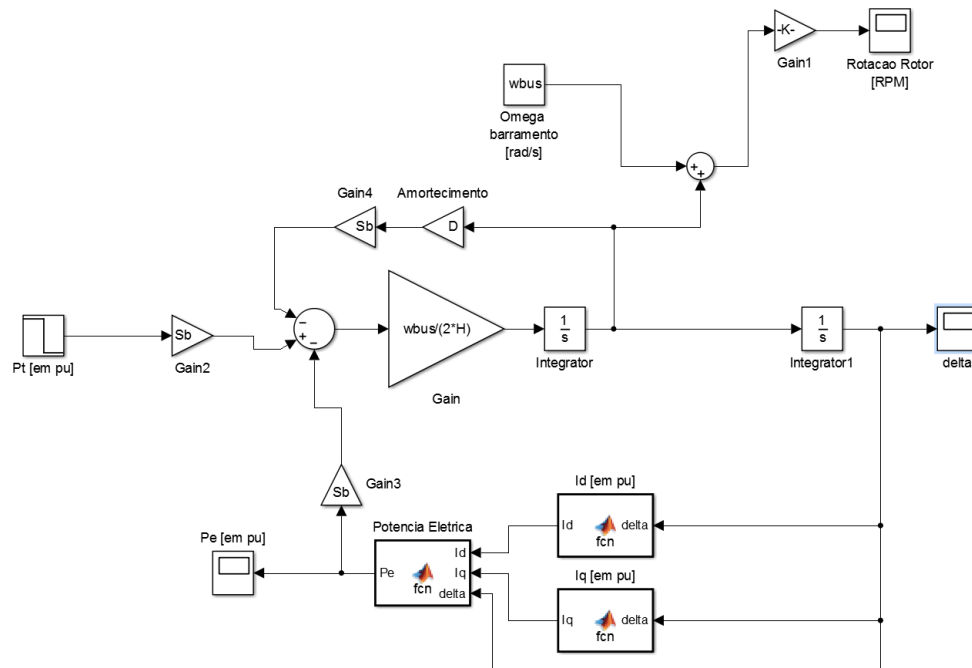


Figura 35. - Diagrama blocos - Simulink. Autoria Própria.

A simulação foi feita à partir dos parâmetros da nossa máquina padrão (Apendice B) para uma variação da potência da turbina de 0,9 pu para 0,7 pu aos 15 segundos de simulação na forma de um degrau.

As condições iniciais foram:

$$\delta_0 = 25,087^\circ$$

$$\omega_r = \omega_s$$

$$\text{e } E_f \text{ constante} = 1,651 \text{ pu}$$

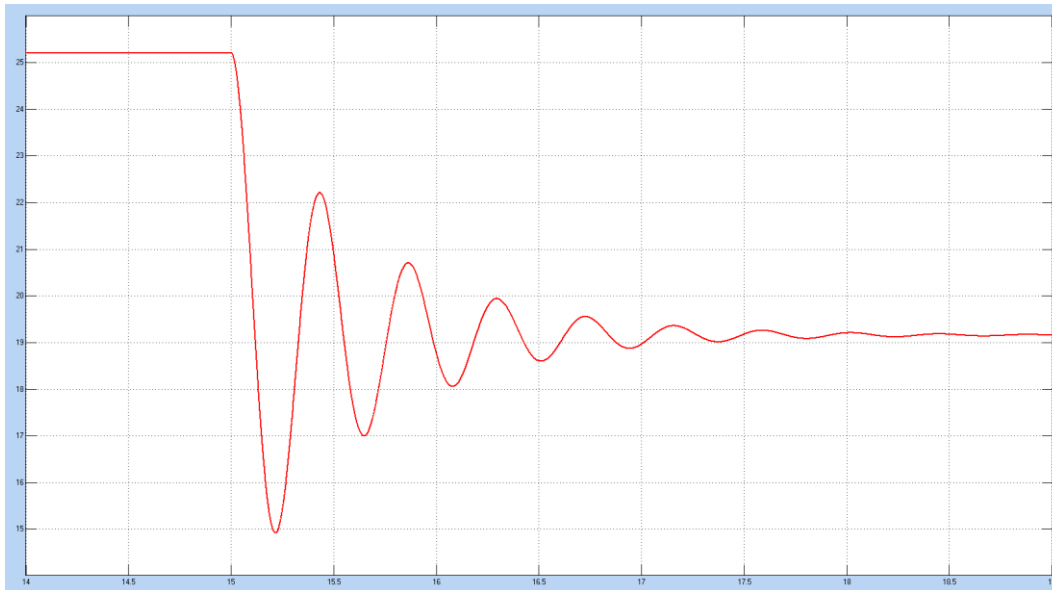


Figura 36. - Delta(t) ampliado- Simulink.

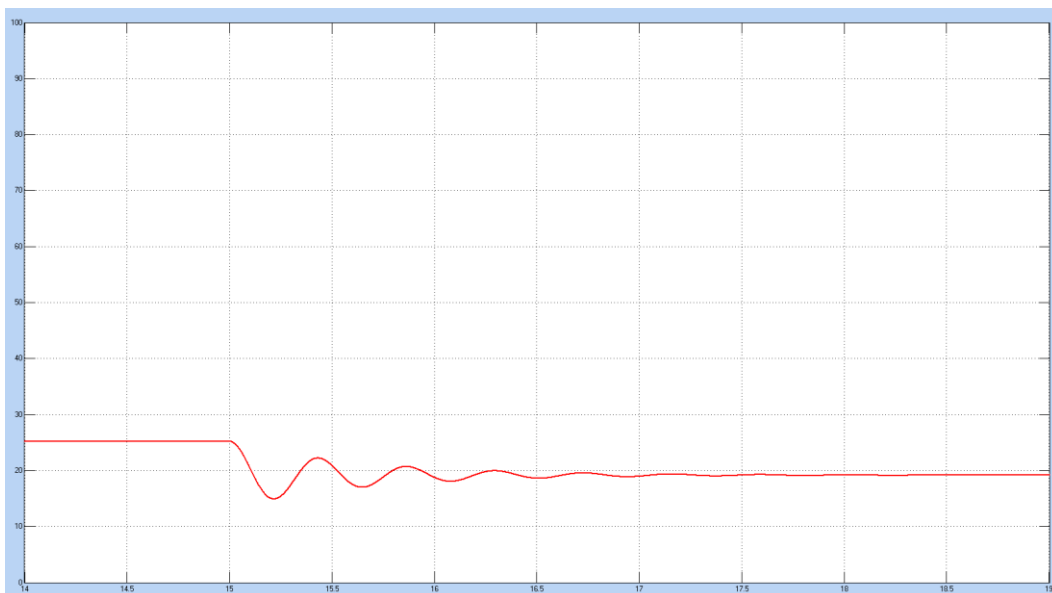


Figura 37. - Delta (t) em escala semelhante ao aplicativo – Simulink.

No *Simulink*, como parâmetros da simulação foi utilizado o solver ode4 (Runge-Kutta) de passo fixo de 0.001 segundos, já o nosso aplicativo usa também o Runge-Kutta de 4ª ordem para a resolução da “*swing equation*” mas com um passo de 0.005 segundos.

Com os dados obtidos por ambas simulações montamos uma planilha no Excel e geramos os gráficos para comparação dos valores.

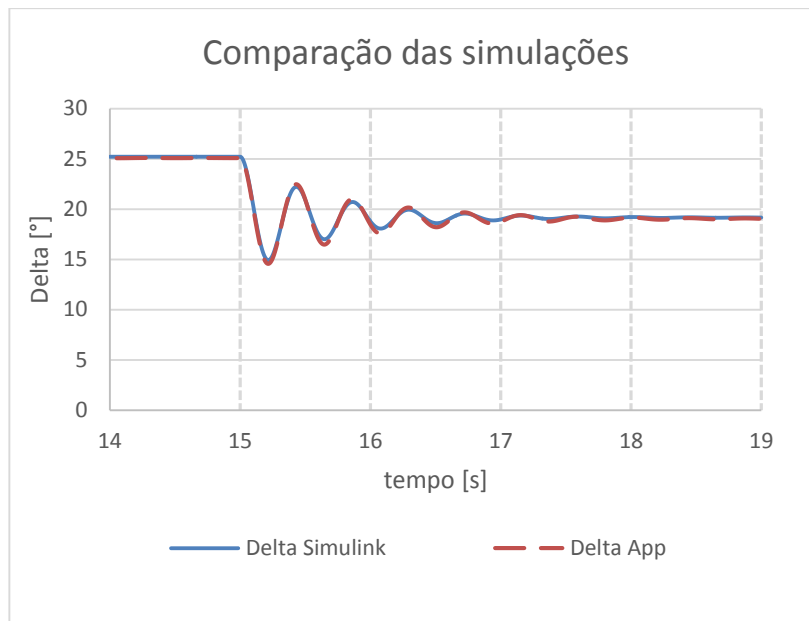


Gráfico 1. - Comparação das simulações.

Tabela 2. - Tabela Resumida - Dados Simulação.

| Tempo [s] | Delta [°] Simulink | Delta [°] Aplicativo |
|-----------|-----------------------|-------------------------|
| 14,00 | 25,21 | 25,0833 |
| 14,50 | 25,21 | 25,0837 |
| 15,00 | 25,21 | 25,0881 |
| 15,50 | 20,92 | 20,9864 |
| 16,00 | 18,78 | 18,4886 |
| 16,50 | 18,61 | 18,2161 |
| 17,00 | 18,97 | 18,7455 |
| 17,50 | 19,18 | 19,1095 |
| 18,00 | 19,21 | 19,1657 |
| 18,50 | 19,18 | 19,0976 |
| 19,00 | 19,16 | 19,0447 |

Como podemos observar pelo gráfico 1 e a tabela 2, os valores são muito próximos, e o mais importante, a frequência natural e tempo de acomodação semelhantes, validando o nosso aplicativo.

4.1.10. Manual de Instruções

O aplicativo de máquinas síncronas de polos salientes é bem intuitivo e de fácil utilização porém explicaremos a seguir as suas funcionalidades.

4.1.10.1. Requisitos básicos

O aplicativo foi feito para ser utilizado em tablets ou smartphones com sistema operacional *Android* 3.1 ou superior.

4.1.10.2. Programa

Nesse aplicativo é ilustrado o comportamento de uma máquina síncrona de polos salientes conectada a um barramento infinito. Nele é demonstrado a variação o ângulo de carga e o fator de potência mediante a alteração dos dois controles da máquina: o controle de velocidade (manipulação da potência mecânica aplicada à turbina) e o controle de tensão (manipulação da corrente de excitação aplicada ao enrolamento rotórico). Também poderão ser encontrados valores das outras componentes envolvidas (ângulo de carga, fator de potência, potências ativa, reativa, aparente, corrente de armadura, tensão interna do gerador) assim como o diagrama fasorial e ponto de operação que também podem ser analisados.

O programa é composto por cinco telas:

- Configuração.
- Diagrama fasorial:
- Gráficos das magnitudes em relação ao tempo
- Ponto de operação
- Manual

Assim que o programa é iniciado nos deparamos com uma tela de boas-vindas. Na barra lateral esquerda temos abas com as demais telas de: configuração, diagrama fasorial, gráficos, ponto de operação e manual.

Primeiramente o usuário deve clicar na aba configuração e inserir os parâmetros da máquina a ser estudada.

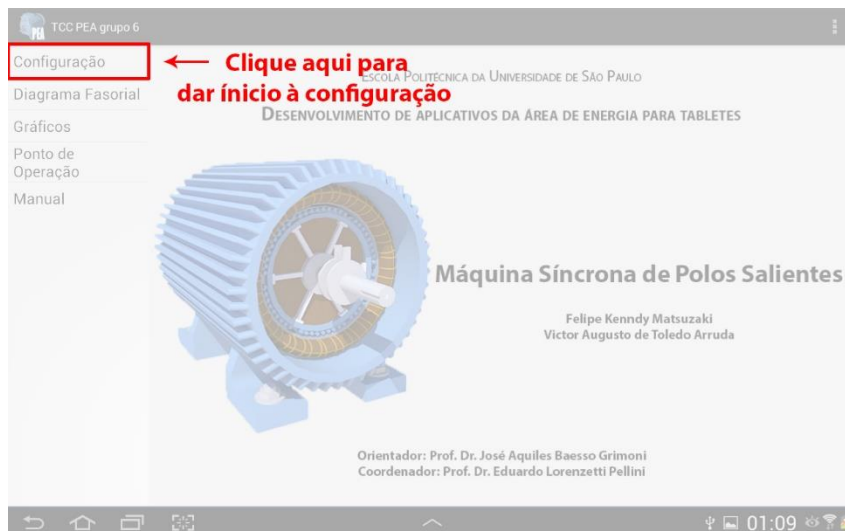


Figura 38. - Passo 1 – Configuração.

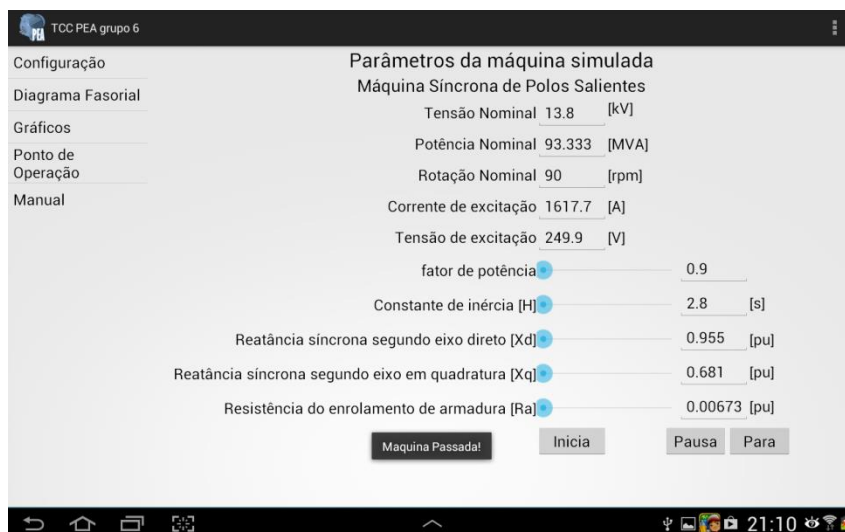


Figura 39. - Passo 2 - Inserção dos parâmetros.

Na janela de configuração é possível inserir os valores através do teclado do dispositivo, e para os parâmetros que possuem uma certa faixa de valores esperados, há disponível uma barra deslizável para variar o valor inserido.

Após a inserção dos parâmetros o usuário deve clicar no botão inicia para salvar esses dados e iniciar a simulação.

Feita a configuração da máquina à ser simulada, as outras janelas ficam disponíveis, e o usuário pode escolher novamente na aba lateral o que deseja analisar (diagrama fasorial, gráficos das grandezas no tempo e ponto de operação).

Dentro dessas outras abas sempre encontramos duas barras deslizáveis posicionados abaixo da tela dos resultados. Através dessas barras deslizáveis o usuário pode alterar os controles de corrente de excitação (de 0 a 3 pu) ou a potência mecânica (de 0 a 1,2 pu). Estes controles servem para que o usuário possa impor uma variação na forma de um degrau da variável desejada, enquanto o usuário mantém o dedo sobre a barra o valor não é inserido, mas seu valor é atualizado na tela, somente quando o usuário retira seu dedo da tela que o valor é alterado e o sistema responde à mudança.

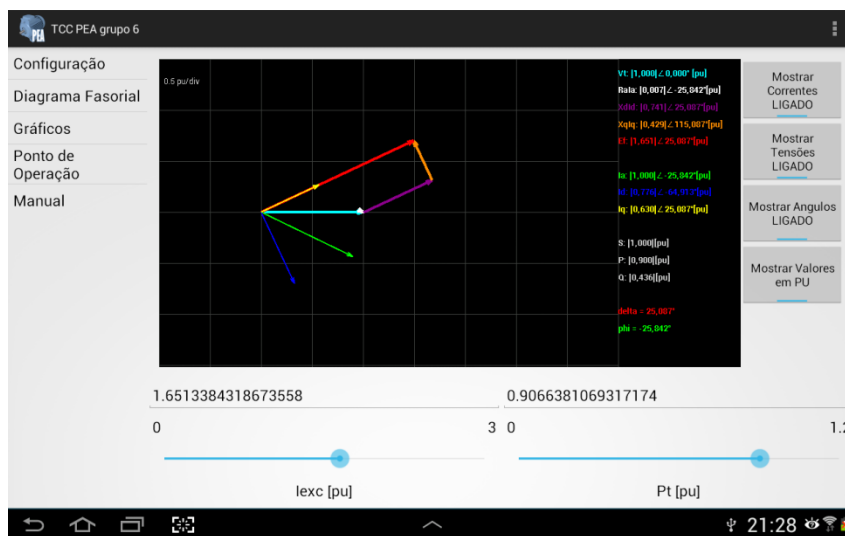


Figura 40. - Tela Diagrama Fasorial

Na aba do diagrama fasorial encontramos, no lado direito, botões para habilitar ou desabilitar a visualização dos vetores indicados, e para mudar a unidade dos valores exibidos.

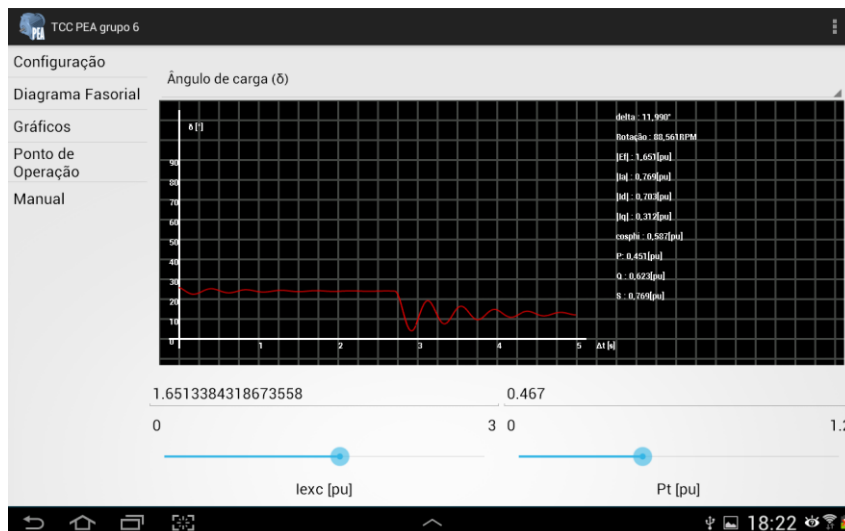


Figura 41. - Janela Gráficos.

Na aba dos gráficos o usuário pode ver como varia no tempo a grandeza observada ao se alterar os controles das variáveis de entrada. Pode-se mudar a grandeza observada clicando-se na região acima de onde é exibido o gráfico, e escolhendo a grandeza da lista que aparece.



Figura 42. - Selecionando a grandeza do Gráfico.

Na aba de ponto de operação podemos analisar a evolução do ponto de operação com a variação dos valores de entrada e também com a variação dos ensaios com a ajuda dos dois *sliders*.

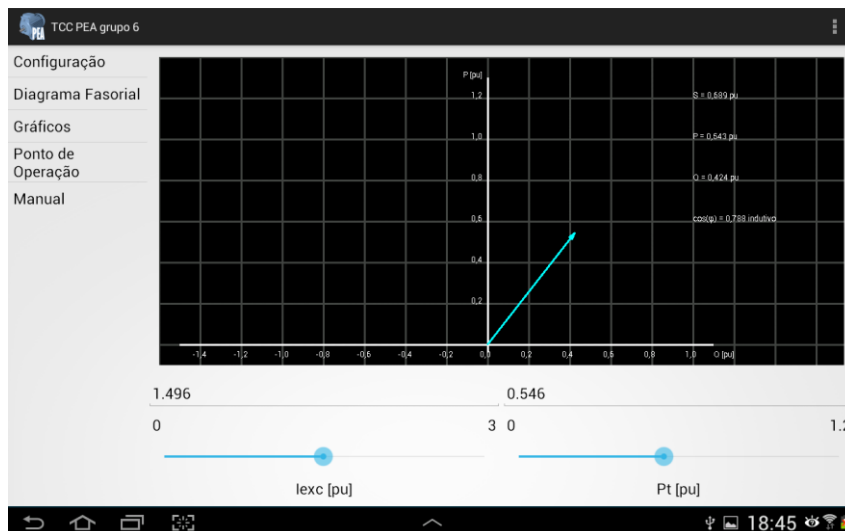


Figura 43. - Janela Ponto de Operação.

Nesta aba é possível ver os valores das potências ativa, reativa e aparente atual da máquina e seu fator de potência.

Por último temos a aba do manual, onde o usuário pode tirar suas dúvidas referentes a utilização e funcionamento do programa com uma versão digital dessa sessão do relatório.

4.1.11. Disponibilização para testes

Juntamente com este trabalho de formatura será disponibilizado um CD-ROM com a versão final do aplicativo no formato **.apk* para que possa ser instalado em qualquer dispositivo *Android* de versão 3.1 (*Honeycomb*) ou superior, juntamente com o código aberto do aplicativo e a versão mais recente do *Android* SDK.

Também disponibilizaremos o aplicativo na *Play Store* gratuitamente, para abranger um maior de usuário e correção de bugs.

5. CRONOGRAMA

5.1. Primeiro semestre

Tabela 3. - Cronograma

| Nome da tarefa | Duração | Início | Término | Predecessoras |
|---------------------------------------|---------|--------------|--------------|---------------|
| Entrega do Plano de trabalho | 0 dias | Sex 15/03/13 | Sex 15/03/13 | |
| Pesquisa de aplicativos | 7 dias | Sex 15/03/13 | Seg 25/03/13 | |
| Pesquisa sobre as necessidades | 14 dias | Sex 15/03/13 | Qua 03/04/13 | |
| Aprendizado da linguagem | 40 dias | Seg 25/03/13 | Sex 17/05/13 | |
| Desenvolvimento parcial do aplicativo | 26 dias | Sáb 18/05/13 | Sex 21/06/13 | |
| Desenvolvimento do relatório 2 | 17 dias | Sex 15/03/13 | Dom 07/04/13 | |
| Revisão do relatório 2 | 6 dias | Seg 08/04/13 | Dom 14/04/13 | 6 |
| Entrega do relatório de progresso 2 | 0 dias | Seg 15/04/13 | Seg 15/04/13 | |
| Desenvolvimento do relatório 3 | 16 dias | Ter 16/04/13 | Ter 07/05/13 | |
| Revisão do relatório 3 | 5 dias | Qua 08/05/13 | Ter 14/05/13 | 9 |
| Entrega do relatório de progresso 3 | 0 dias | Qua 15/05/13 | Qua 15/05/13 | |
| Desenvolvimento do relatório parcial | 17 dias | Qui 16/05/13 | Sex 07/06/13 | |
| Revisão do relatório parcial | 9 dias | Seg 10/06/13 | Qui 20/06/13 | 12 |
| Entrega do relatório parcial | 0 dias | Sex 21/06/13 | Sex 21/06/13 | |
| Preparação da apresentação | 7 dias | Sex 21/06/13 | Dom 30/06/13 | |
| Arguição | 1 dia | Seg 01/07/13 | Seg 01/07/13 | |

5.2. Segundo semestre

Tabela 4. - Cronograma

| Nome da tarefa | Duração | Início | Término | Predecessoras |
|--|---------|--------------|--------------|---------------|
| Implementação do programa desenvolvido | 90 dias | Sex 1/08/13 | Sex 31/10/13 | |
| Comparação dos resultados | 7 dias | Sex 25/10/13 | Seg 31/10/13 | |
| Elaboração do manual | 5 dias | Sex 27/10/13 | Qua 31/10/13 | |
| Testes e possíveis melhorias | 10 dias | Seg 31/10/13 | Sex 10/11/13 | |

6. CONCLUSÃO

Durante o 1o semestre de 2013, focamos em diminuir o escopo do tema proposto, fazendo pesquisas sobre os aplicativos existentes relacionados à energia elétrica e os testamos, não sendo essa pesquisa suficiente para a decisão de qual seria a aplicação do nosso *app*, preparamos uma pesquisa de opinião, que foi veiculada entre alunos e professores do curso de Engenharia Elétrica com ênfase em energia e automação do PEA.

Com o resultado dessa pesquisa foi possível decidirmos que nosso aplicativo teria fins didáticos, voltado aos alunos do curso do PEA. Com base nos resultados da pesquisa e preferências pessoais, desenvolvemos o programa de Maquinas síncrona de polos salientes ligado a um barramento infinito.

Em paralelo a essas pesquisas, estudamos os meios de desenvolvimento de aplicativos para tablets. Assim estudamos a linguagem Java e também a teoria de maquinas elétricas.

Após o estudo da teoria de maquinas elétricas fizemos o equacionamento da máquina quando conectada a um barramento infinito e também todo o funcionamento do programa.

Iniciamos a programação do aplicativo no mês de Agosto, nos deparando com algumas dificuldades inesperadas, como por exemplo, como desenhar vetores programaticamente, ou como construir um *stripchart*.

Durante o segundo semestre foi desenvolvido um aplicativo para tablete que simula uma máquina síncrona de polos salientes conectada a um barramento infinito, operando em regime permanente. Nele o usuário pode inserir os parâmetros de uma máquina que deseja simular, ou utilizar os parâmetros sugeridos, que são de uma máquina existente, a qual não fomos autorizados a divulgar o fabricante e local onde é utilizada.

Após a definição da máquina utilizada é iniciada a simulação e o usuário poderá navegar pelas outras janelas do aplicativo, onde é possível visualizar o diagrama fasorial, os gráficos das grandezas no tempo e o ponto de operação da máquina. Essa visualização é dinâmica, assim o usuário pode observar as mudanças nas grandezas durante o pequeno transitório eletromecânico causado pelas mudanças feitas nas variáveis de entrada no painel de controle.

Gostaríamos de salientar que o aplicativo proposto teve o intuito de ser uma nova ferramenta didática e principalmente de abrir o caminho para que ferramentas assim sejam cada vez mais utilizadas para facilitar e modernizar o ensino ao aluno. Por isso nos esforçamos para que o aplicativo ficasse com uma interface amigável e de fácil utilização tornando o assunto mais interessante para o aluno e uma nova opção para os professores utilizarem no ensino.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 IDC BRASIL. Mercado brasileiro de tablets atinge número recorde de vendas no segundo trimestre de 2012, revela estudo da IDC. **IDC Releases**, 01 Setembro 2013. Disponível em: <<http://br.idclatin.com/releases/news.aspx?id=1414>>. Acesso em: 05/03/2013 Março 2013.

2 IDC BRASIL. Mercado de tablets no Brasil foi o que mais cresceu em 2012, revela estudo da IDC. **IDC Releases**, 2013. Disponível em: <<http://br.idclatin.com/releases/news.aspx?id=1457>>. Acesso em: 05 Março 2013.

3 IDC BRASIL. Brasil cresce 127% e entra na lista dos 10 maiores mercados de tablets do mundo, revela estudo da IDC. **IDC Releases**, 2013. Disponível em: <<http://br.idclatin.com/releases/news.aspx?id=1439>>. Acesso em: 05 Março 2013.

4 ANDROID OPEN SOURCE PROJECT. Get the Android SDK. **Android Developers**. Disponível em: <<http://developer.android.com/sdk/index.html>>. Acesso em: 07 Março 2013.

5 ANDROID OPEN SOURCE PROJECT. Building Your First App. **Android Developers**. Disponível em: <<http://developer.android.com/training/basics/firstapp/index.html>>.

6 LECHETA, R. R. **Google Android Para Tablets: Aprenda a Desenvolver Aplicações Para o Android**. São Paulo: Novatec, 2013.

7 CAELUM. Java e Orientação a Objetos. Disponível em: <<http://www.caelum.com.br/apostila-java-orientacao-objetos/>>.

8 KUNDUR, P. **Power System Stability and Control**. [S.l.]: McGraw-Hill Professional, 1994.

9 ALFARO, V. M. Métodos numéricos para la solución de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO). **Departamento de Automática**, 2006. Disponível em: <http://www2.eie.ucr.ac.cr/~valfaro/docs/Vma.ucr.metodos_numericos.pdf>. Acesso em: 2013.

10 CHAKRABART, A. Power System Dynamics And Simulation. In: CHAKRABART, A. **Power System Dynamics And Simulation**. Delhi: PHI Learning Private Limited, 2013. Cap. 6, p. 209-232.

11 MATHWORKS. Simplified Synchronous Machine. **MathWorks**: Accelerating the pace of engineering and science. Disponível em: <<http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/simplifiedsynchrousmachine.html>>. Acesso em: 2013.

12 E. FITZGERALD, C. K. J. . S. U. **Eletric Machinery**. 5th. ed. [S.l.]: McGraw Hill, 1992.

13 CHAPMAN, S. J. **Eletric Machinery Fundamentals**. [S.l.]: McGraw Hill, 1991.

14 M. P. KOSTENKO, L. M. P. **Máquinas Elétricas**. 2nd. ed. [S.l.]: Editorial Mir, v. II, 1973.

15 ANDERSON, P. M.; FOUAD, A. A. **Power System Control and Stability**. 2nd. ed. [S.l.]: Wiley India Pvt. Limited, 2008.

16 ZANETTA JÚNIOR, L. C. **Fundamentos de Sistemas Elétricos de Potência**. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2006.

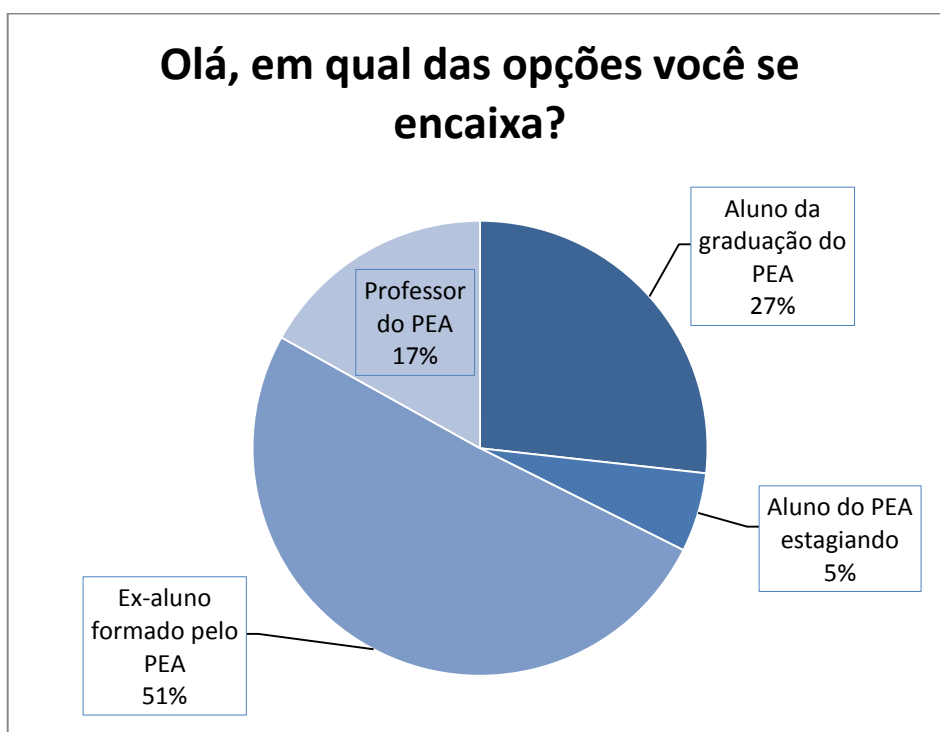
17 BORGES, C. L. T. Análise de Sistemas de Potência, 2005. Disponível em: <http://www.dee.ufrj.br/lasp/disciplinas/Apostila_Completa_ANALISE_DE_SISTEMAS_DE_POTENCIA.pdf>. Acesso em: 2013.

8. APÊNDICES

8.1. Apêndice A

8.1.2. Pergunta geral

Com essa pergunta inicial, nosso objetivo foi direcionar o usuário a um questionário melhor direcionado.

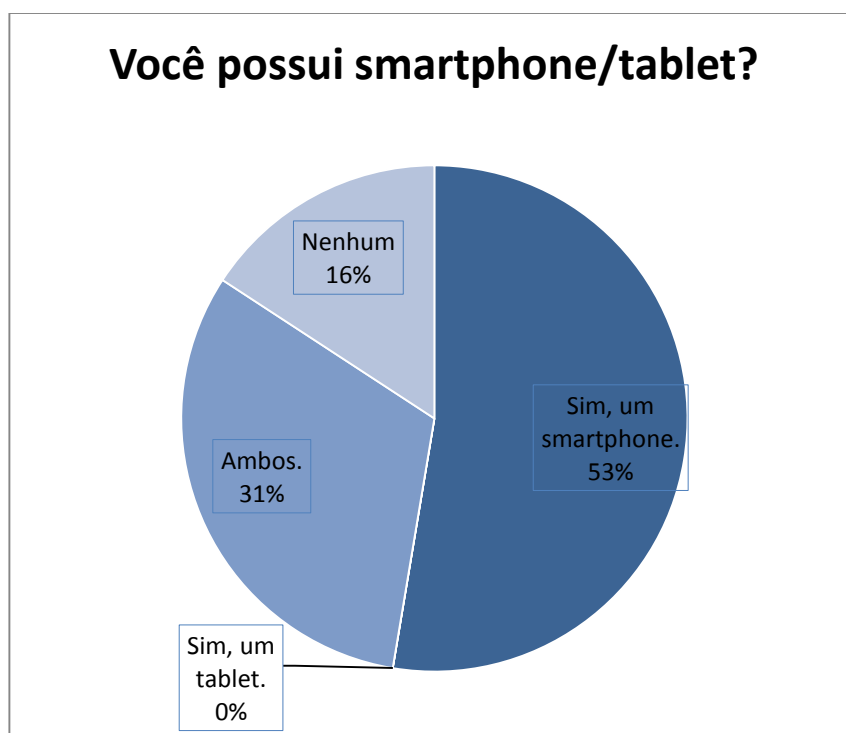


Apêndice A Gráfico 1.

| Olá, em qual das opções você se encaixa? | | |
|--|---------------|--------|
| Opções | Entrevistados | % |
| Aluno da graduação do PEA | 19 | 26,8% |
| Aluno do PEA estagiando | 4 | 5,6% |
| Ex-aluno formado pelo PEA | 36 | 50,7% |
| Professor do PEA | 12 | 16,9% |
| Total | 71 | 100,0% |

Apêndice A Tabela 1.

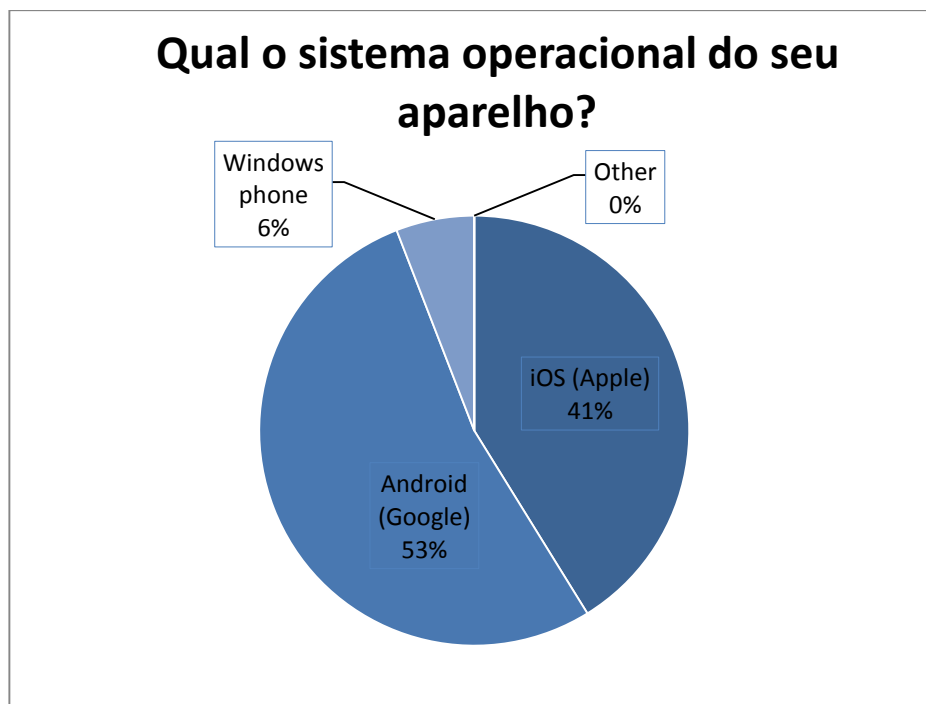
8.1.3. Questionário voltado aos alunos da graduação do PEA



Apêndice A Gráfico 2

| Você possui smartphone/tablet? | | |
|--------------------------------|---------------|-------|
| Opções | Entrevistados | % |
| Sim, um smartphone. | 10 | 52,6% |
| Sim, um tablet. | 0 | 0,0% |
| Ambos. | 6 | 31,6% |
| Nenhum | 3 | 15,8% |

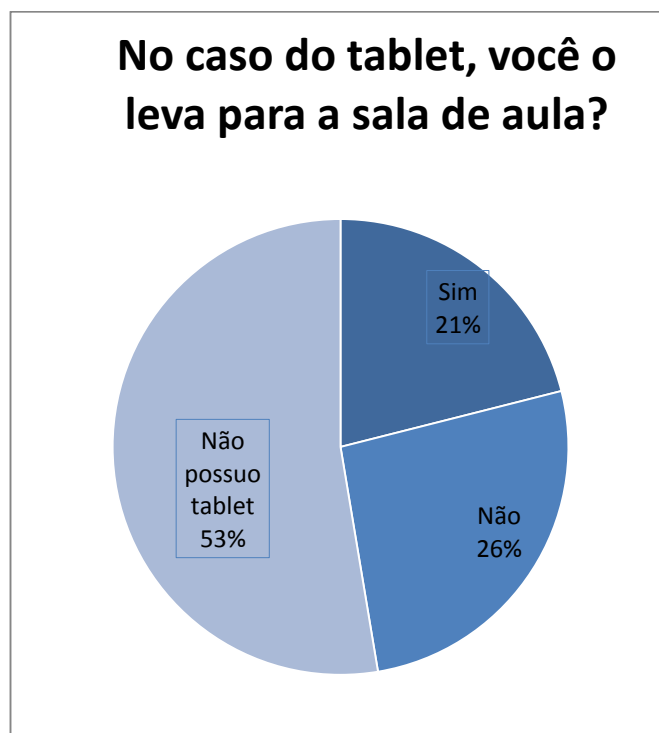
Apêndice A Tabela 2



Apêndice A Gráfico 3

| Qual o sistema operacional do seu aparelho? | | |
|---|---------------|-------|
| Opções | Entrevistados | % |
| iOS (Apple) | 7 | 41,2% |
| Android (Google) | 9 | 52,9% |
| Windows phone | 1 | 5,9% |
| Outro | 0 | 0,0% |

Apêndice A Tabela 3

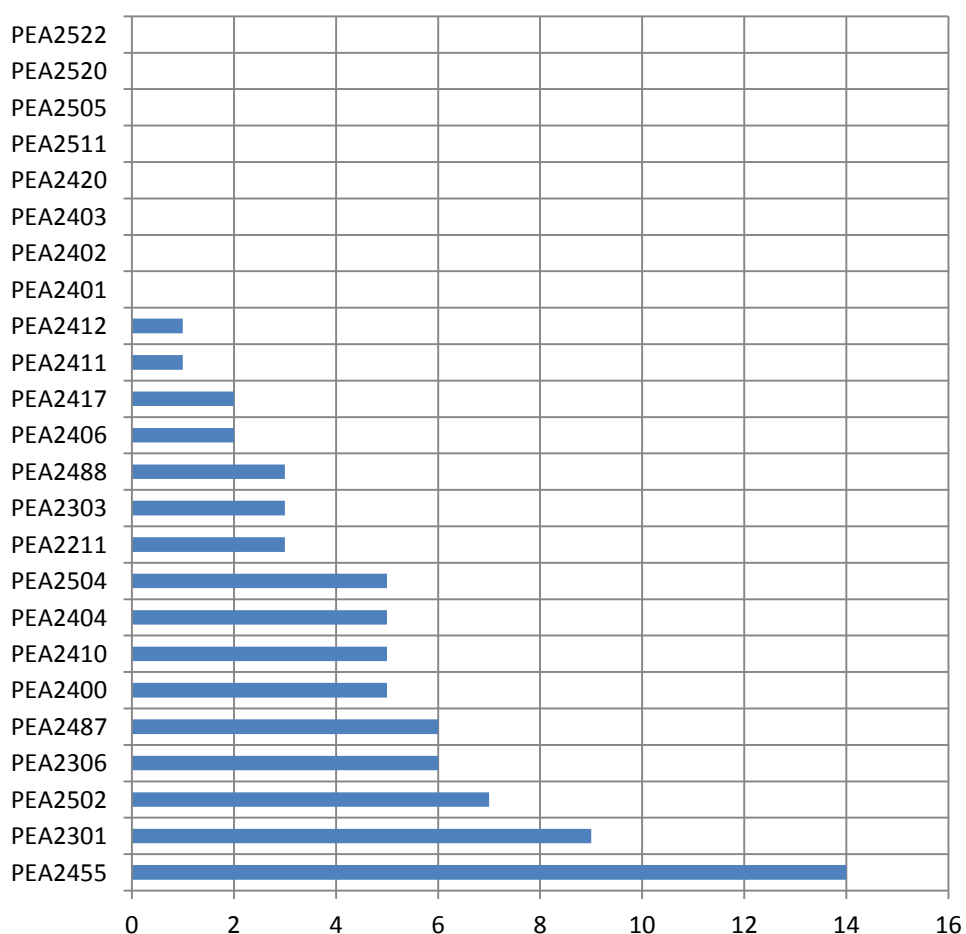


Apêndice A Gráfico 4

| No caso do tablet, você o leva para a sala de aula? | | |
|---|---------------|-------|
| Opções | Entrevistados | % |
| Sim | 4 | 21,1% |
| Não | 5 | 26,3% |
| Não possuo tablet | 10 | 52,6% |

Apêndice A Tabela 4

Em quais matérias do PEA você teve maior dificuldade?



Apêndice A Gráfico 5

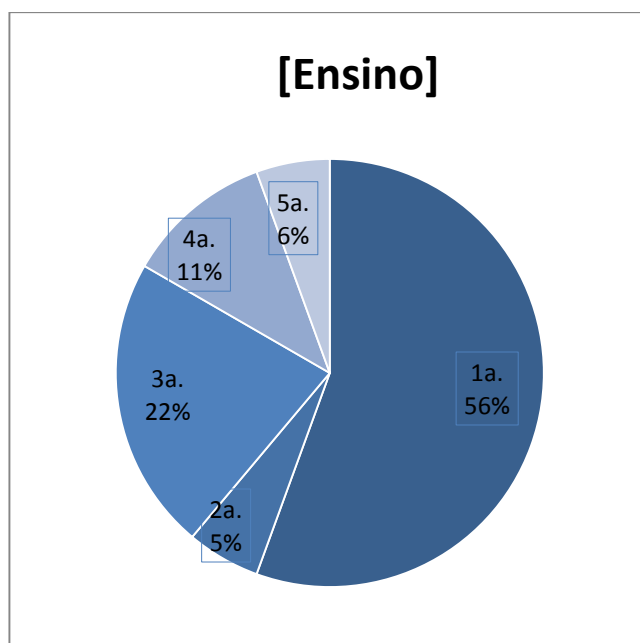
| Em quais matérias do PEA você teve maior dificuldade? | |
|--|-------------|
| Disciplina | Ocorrências |
| PEA2455 - Controle | 14 |
| PEA2301 - Introdução a Sistemas Elétricos de Potência | 9 |
| PEA2502 - Laboratório de Eletrônica de Potência | 7 |
| PEA2306 - Conversão Eletromecânica de Energia | 6 |
| PEA2487 - Eletrônica de Potência I | 6 |
| PEA2400 - Máquinas Elétricas I | 5 |
| PEA2410 - Sistemas de Potência I | 5 |
| PEA2404 - Máquinas Elétricas e Seus Acionamentos | 5 |
| PEA2504 - Laboratório de Máquinas Elétricas | 5 |
| PEA2211 - Introdução à Eletromecânica e à Automação | 3 |
| PEA2303 - Engenharia Eletromagnética | 3 |
| PEA2488 - Eletrônica de Potência II | 3 |
| PEA2406 - Laboratório de Sistemas de Potência | 2 |
| PEA2417 - Sistemas de Potência II | 2 |
| PEA2411 - Introdução à Automação de Sistemas Elétricos | 1 |
| PEA2412 - Automação de Sistemas Elétricos de Potência | 1 |
| PEA2401 - Laboratório de Instalações Elétricas I | 0 |
| PEA2402 - Instalações Elétricas I | 0 |
| PEA2403 - Instalações Elétricas II | 0 |
| PEA2420 - Produção de Energia | 0 |
| PEA2511 - Transporte de Energia Elétrica | 0 |
| PEA2505 - Introdução à Automação de Sistemas Industriais | 0 |
| PEA2520 - Uso da Energia Elétrica | 0 |
| PEA2522 - Técnicas de Otimização em Engenharia de Potência | 0 |

Apêndice A Tabela 5

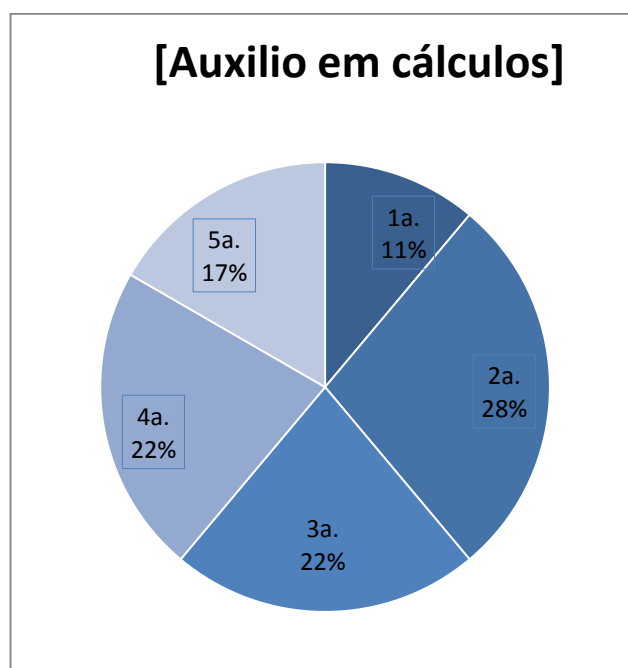
Foi pedido que se numerasse de acordo com a prioridade dentre as opções: ensino, auxílio em cálculos, eficiência energética, projeto de instalações e monitoramento de instalações, qual proporcionaria um maior benefício se desenvolvido um software/aplicativo, sendo 1ª a mais importante e 5ª menos importante.

| Dentre as opções qual proporcionaria um maior benefício se desenvolvido um software/aplicativo, em sua opinião? | | |
|---|---------------|-------|
| [Ensino] | | |
| Prioridade | Entrevistados | % |
| 1a. | 10 | 55,6% |
| 2a. | 1 | 5,6% |
| 3a. | 4 | 22,2% |
| 4a. | 2 | 11,1% |
| 5a. | 1 | 5,6% |
| [Auxílio em cálculos] | | |
| 1a. | 2 | 11,1% |
| 2a. | 5 | 27,8% |
| 3a. | 4 | 22,2% |
| 4a. | 4 | 22,2% |
| 5a. | 3 | 16,7% |
| [Eficiência energética] | | |
| 1a. | 1 | 5,6% |
| 2a. | 4 | 22,2% |
| 3a. | 6 | 33,3% |
| 4a. | 5 | 27,8% |
| 5a. | 2 | 11,1% |
| [Projeto de instalações] | | |
| 1a. | 0 | 0,0% |
| 2a. | 5 | 27,8% |
| 3a. | 6 | 33,3% |
| 4a. | 5 | 27,8% |
| 5a. | 2 | 11,1% |
| [Monitoramento de instalações] | | |
| 1a. | 4 | 22,2% |
| 2a. | 2 | 11,1% |
| 3a. | 5 | 27,8% |
| 4a. | 1 | 5,6% |
| 5a. | 6 | 33,3% |

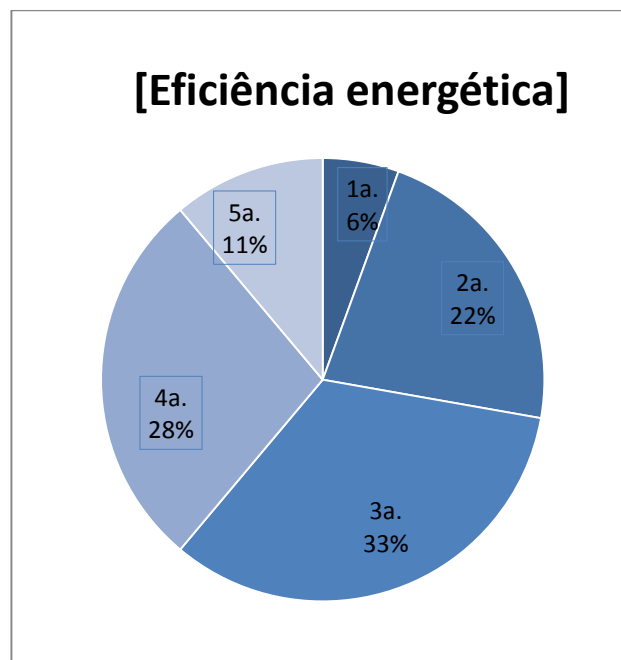
Apêndice A Tabela 6



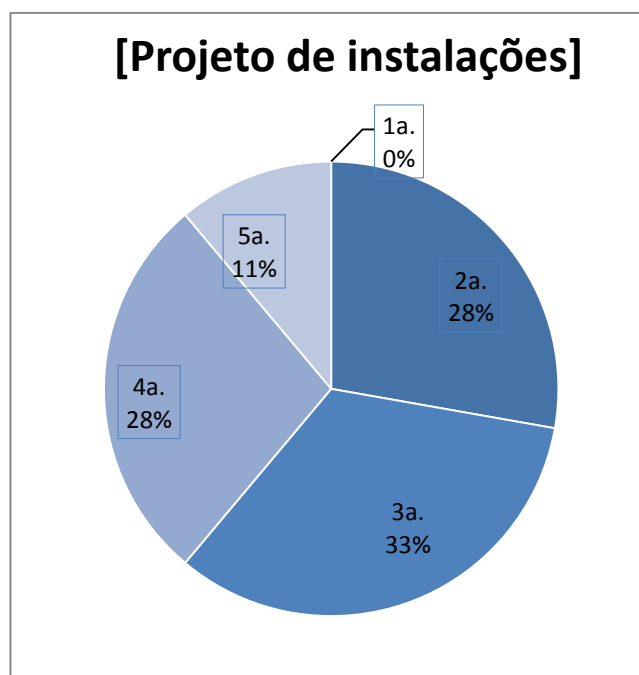
Apêndice A Gráfico 6



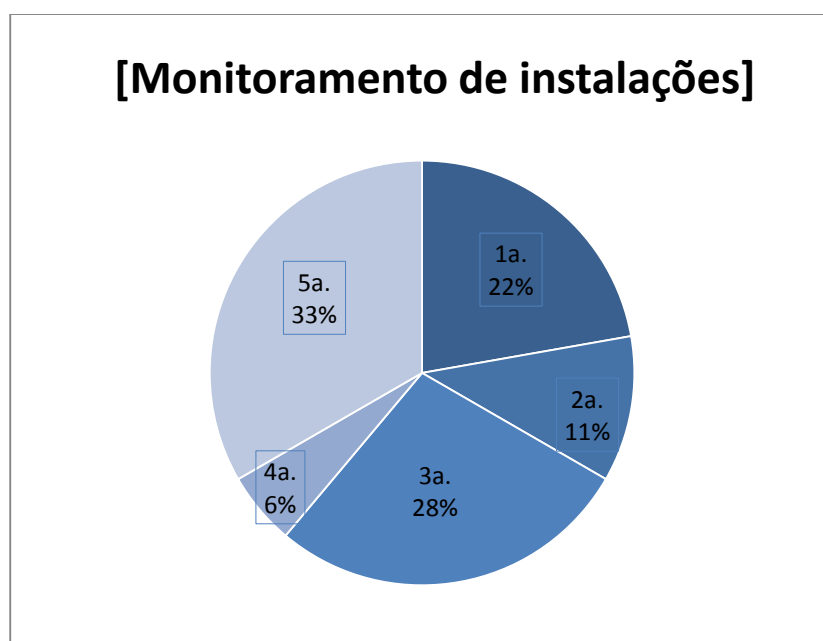
Apêndice A Gráfico 7



Apêndice A Gráfico 8

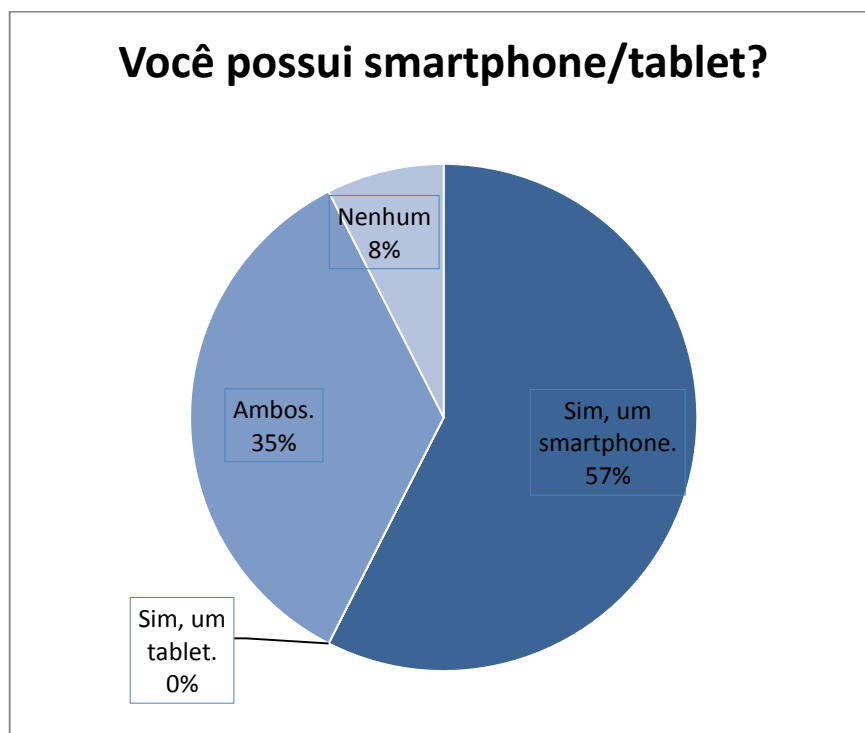


Apêndice A Gráfico 9



Apêndice A Gráfico 10

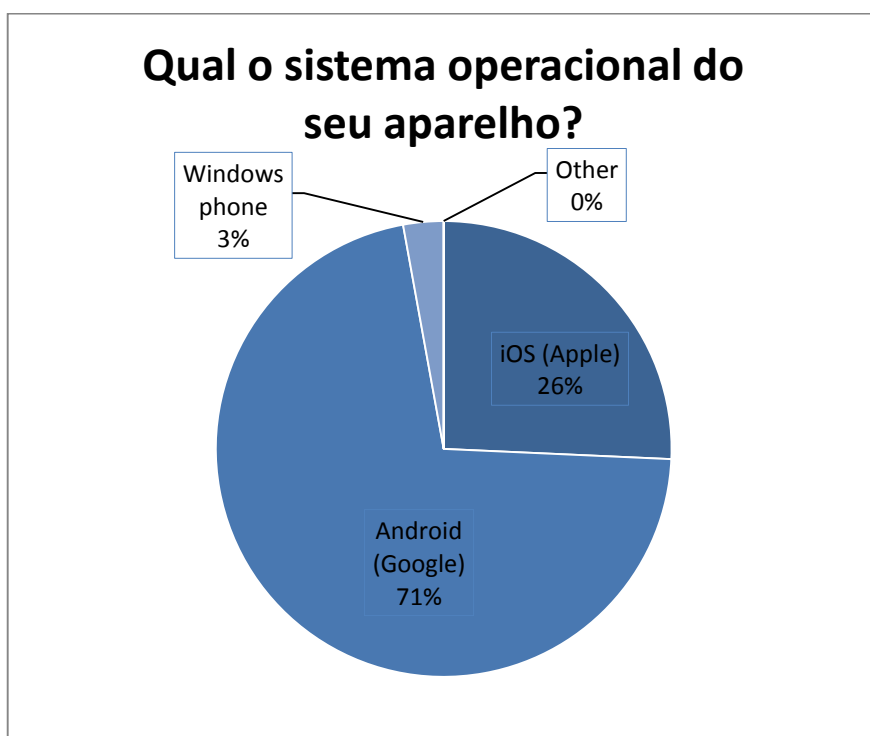
8.1.4. Questionário voltado aos alunos no mercado de trabalho



Apêndice A Gráfico 11

| Você possui smartphone/tablet? | | |
|--------------------------------|---------------|-------|
| Opções | Entrevistados | % |
| Sim, um smartphone. | 23 | 57,5% |
| Sim, um tablet. | 0 | 0,0% |
| Ambos. | 14 | 35,0% |
| Nenhum | 3 | 7,5% |

Apêndice A Tabela 7

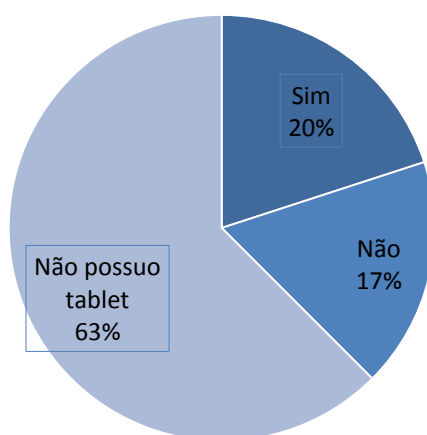


Apêndice A Gráfico 12

| Qual o sistema operacional do seu aparelho? | | |
|---|---------------|-------|
| Opções | Entrevistados | % |
| iOS (Apple) | 9 | 25,7% |
| Android (Google) | 25 | 71,4% |
| Windows phone | 1 | 2,9% |
| Other | 0 | 0,0% |

Apêndice A Tabela 8

No caso do tablet, você o leva para a sala de aula?

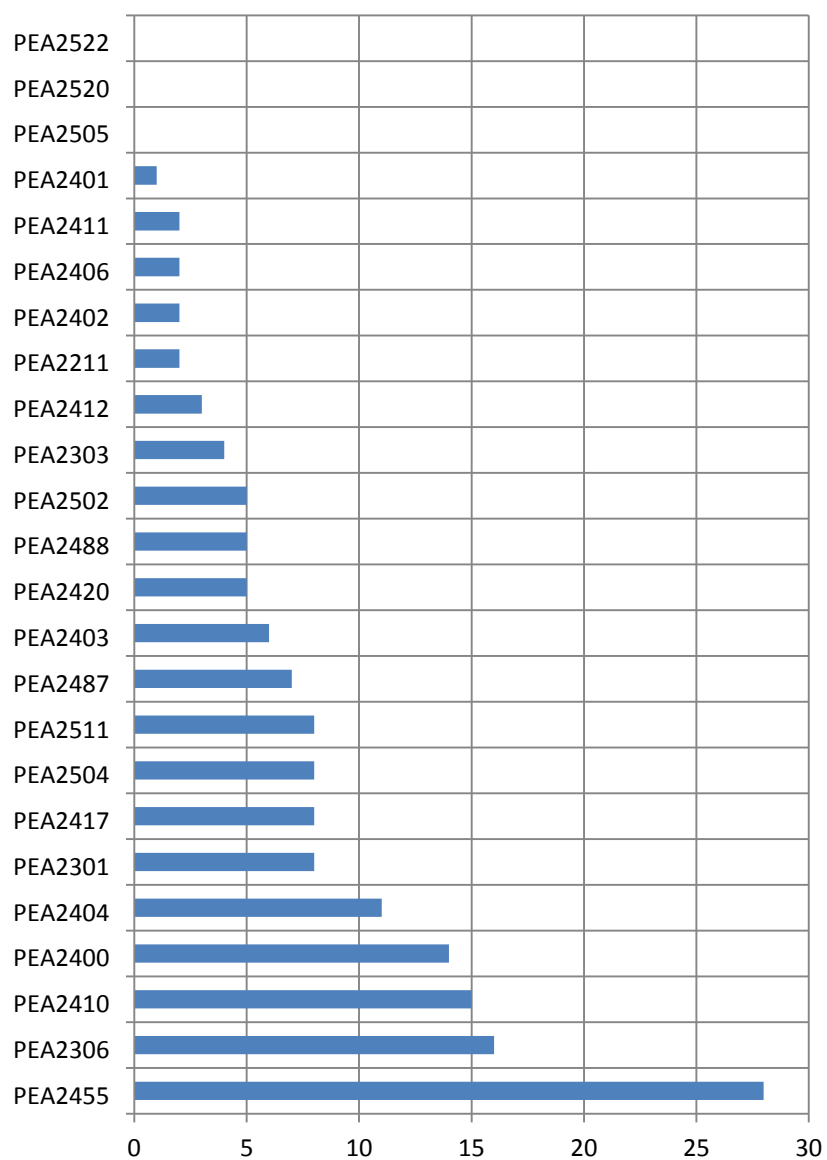


Apêndice A Gráfico 13

| No caso do tablet, você o leva para a sala de aula? | | |
|---|---------------|-------|
| Opções | Entrevistados | % |
| Sim | 8 | 20,0% |
| Não | 7 | 17,5% |
| Não possuo tablet | 25 | 62,5% |

Apêndice A Tabela 9

Em quais matérias do PEA você teve maior dificuldade?

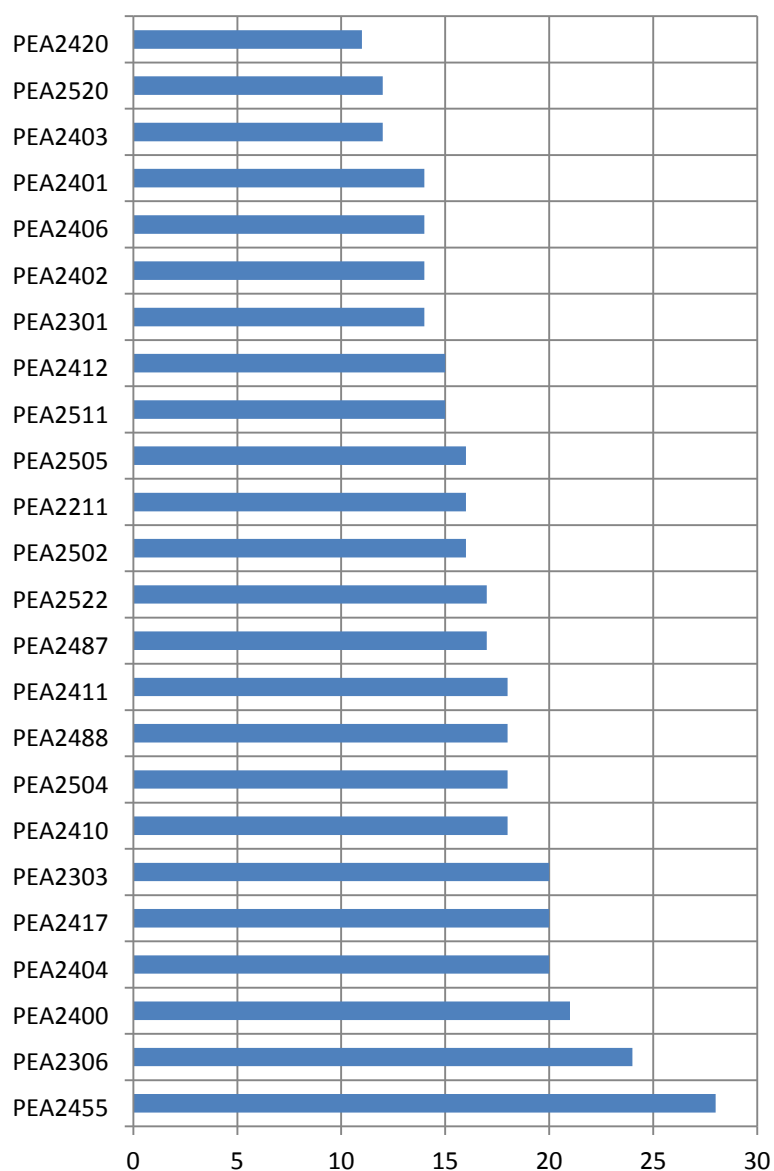


Apêndice A Gráfico 14

| Em quais matérias do PEA você teve maior dificuldade? | |
|--|-------------|
| Disciplina | Ocorrências |
| PEA2455 - Controle | 28 |
| PEA2306 - Conversão Eletromecânica de Energia | 16 |
| PEA2410 - Sistemas de Potência I | 15 |
| PEA2400 - Máquinas Elétricas I | 14 |
| PEA2404 - Máquinas Elétricas e Seus Acionamentos | 11 |
| PEA2301 - Introdução a Sistemas Elétricos de Potência | 8 |
| PEA2417 - Sistemas de Potência II | 8 |
| PEA2504 - Laboratório de Máquinas Elétricas | 8 |
| PEA2511 - Transporte de Energia Elétrica | 8 |
| PEA2487 - Eletrônica de Potência I | 7 |
| PEA2403 - Instalações Elétricas II | 6 |
| PEA2420 - Produção de Energia | 5 |
| PEA2488 - Eletrônica de Potência II | 5 |
| PEA2502 - Laboratório de Eletrônica de Potência | 5 |
| PEA2303 - Engenharia Eletromagnética | 4 |
| PEA2412 - Automação de Sistemas Elétricos de Potência | 3 |
| PEA2211 - Introdução à Eletromecânica e à Automação | 2 |
| PEA2402 - Instalações Elétricas I | 2 |
| PEA2406 - Laboratório de Sistemas de Potência | 2 |
| PEA2411 - Introdução à Automação de Sistemas Elétricos | 2 |
| PEA2401 - Laboratório de Instalações Elétricas I | 1 |
| PEA2505 - Introdução à Automação de Sistemas Industriais | 0 |
| PEA2520 - Uso da Energia Elétrica | 0 |
| PEA2522 - Técnicas de Otimização em Engenharia de Potência | 0 |

Apêndice A Tabela 10

**Em quais matérias, na sua
opinião, o uso de uma ferramenta
computacional durante as aulas
ajudaria a entender melhor os
conceitos expostos?**



Apêndice A Gráfico 15

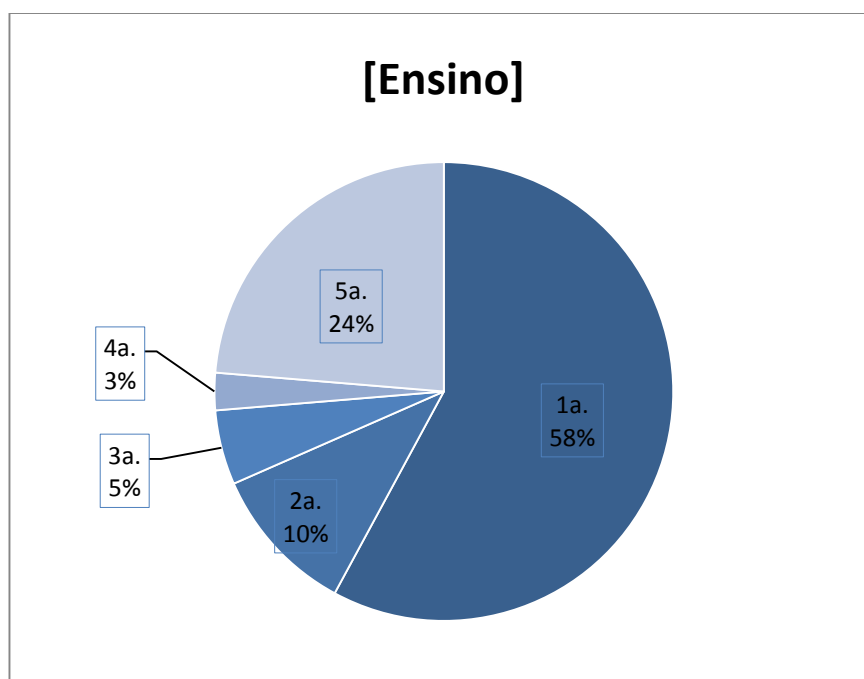
| Em quais matérias, na sua opinião, o uso de uma ferramenta computacional durante as aulas ajudaria a entender melhor os conceitos expostos? | |
|---|-------------|
| Disciplina | Ocorrências |
| PEA2455 - Controle | 28 |
| PEA2306 - Conversão Eletromecânica de Energia | 24 |
| PEA2400 - Máquinas Elétricas I | 21 |
| PEA2404 - Máquinas Elétricas e Seus Acionamentos | 20 |
| PEA2417 - Sistemas de Potência II | 20 |
| PEA2303 - Engenharia Eletromagnética | 20 |
| PEA2410 - Sistemas de Potência I | 18 |
| PEA2504 - Laboratório de Máquinas Elétricas | 18 |
| PEA2488 - Eletrônica de Potência II | 18 |
| PEA2411 - Introdução à Automação de Sistemas Elétricos | 18 |
| PEA2487 - Eletrônica de Potência I | 17 |
| PEA2522 - Técnicas de Otimização em Engenharia de Potência | 17 |
| PEA2502 - Laboratório de Eletrônica de Potência | 16 |
| PEA2211 - Introdução à Eletromecânica e à Automação | 16 |
| PEA2505 - Introdução à Automação de Sistemas Industriais | 16 |
| PEA2511 - Transporte de Energia Elétrica | 15 |
| PEA2412 - Automação de Sistemas Elétricos de Potência | 15 |
| PEA2301 - Introdução a Sistemas Elétricos de Potência | 14 |
| PEA2402 - Instalações Elétricas I | 14 |
| PEA2406 - Laboratório de Sistemas de Potência | 14 |
| PEA2401 - Laboratório de Instalações Elétricas I | 14 |
| PEA2403 - Instalações Elétricas II | 12 |
| PEA2520 - Uso da Energia Elétrica | 12 |
| PEA2420 - Produção de Energia | 11 |

Apêndice A Tabela 11

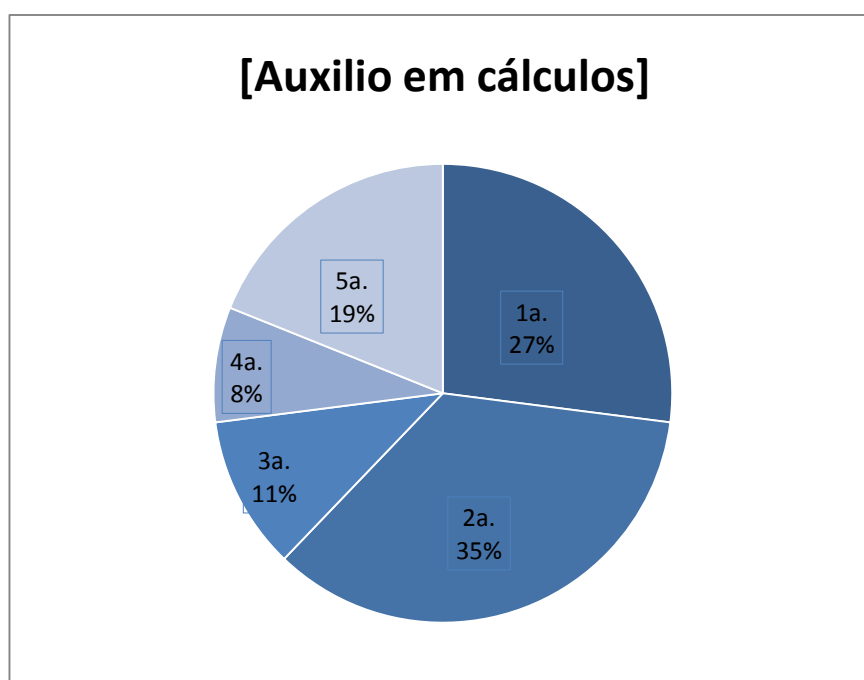
Novamente foi pedido que se numerasse de acordo com a prioridade dentre as opções: ensino, auxílio em cálculos, eficiência energética, projeto de instalações e monitoramento de instalações, qual proporcionaria um maior benefício se desenvolvido um software/aplicativo, sendo 1ª a mais importante e 5ª menos importante.

| Dentre as opções qual proporcionaria um maior benefício se desenvolvido um software/aplicativo, em sua opinião? | | |
|---|-------------|-------|
| [Ensino] | | |
| Prioridade | Ocorrências | % |
| 1a. | 22 | 57,9% |
| 2a. | 4 | 10,5% |
| 3a. | 2 | 5,3% |
| 4a. | 1 | 2,6% |
| 5a. | 9 | 23,7% |
| [Auxilio em cálculos] | | |
| 1a. | 10 | 27,0% |
| 2a. | 13 | 35,1% |
| 3a. | 4 | 10,8% |
| 4a. | 3 | 8,1% |
| 5a. | 7 | 18,9% |
| [Eficiência energética] | | |
| 1a. | 1 | 2,7% |
| 2a. | 3 | 8,1% |
| 3a. | 14 | 37,8% |
| 4a. | 11 | 29,7% |
| 5a. | 8 | 21,6% |
| [Projeto de instalações] | | |
| 1a. | 3 | 7,7% |
| 2a. | 14 | 35,9% |
| 3a. | 11 | 28,2% |
| 4a. | 7 | 17,9% |
| 5a. | 4 | 10,3% |
| [Monitoramento de instalações] | | |
| 1a. | 5 | 13,5% |
| 2a. | 4 | 10,8% |
| 3a. | 9 | 24,3% |
| 4a. | 11 | 29,7% |
| 5a. | 8 | 21,6% |

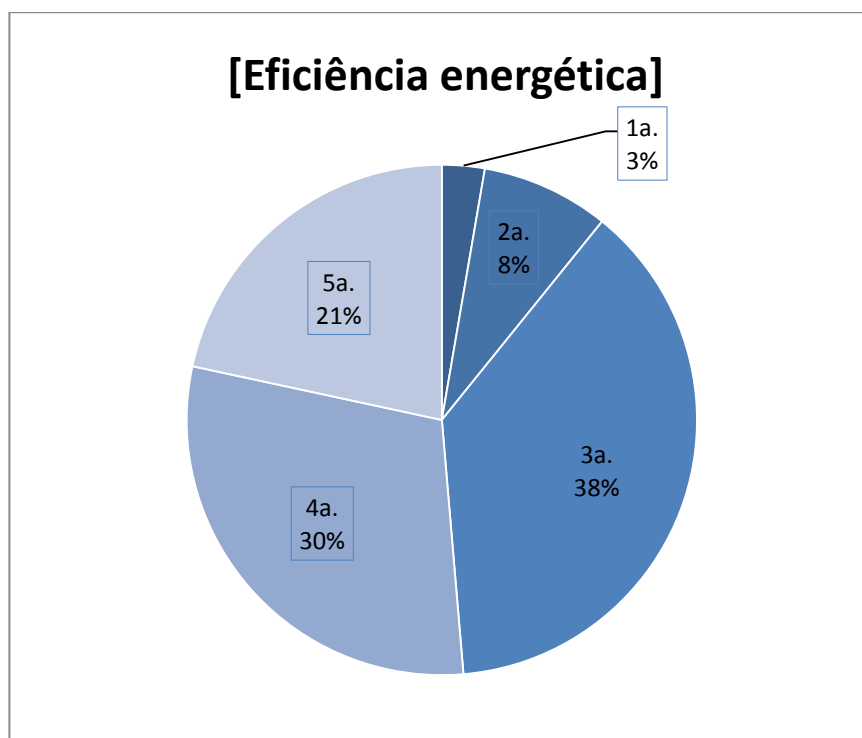
Apêndice A Tabela 12



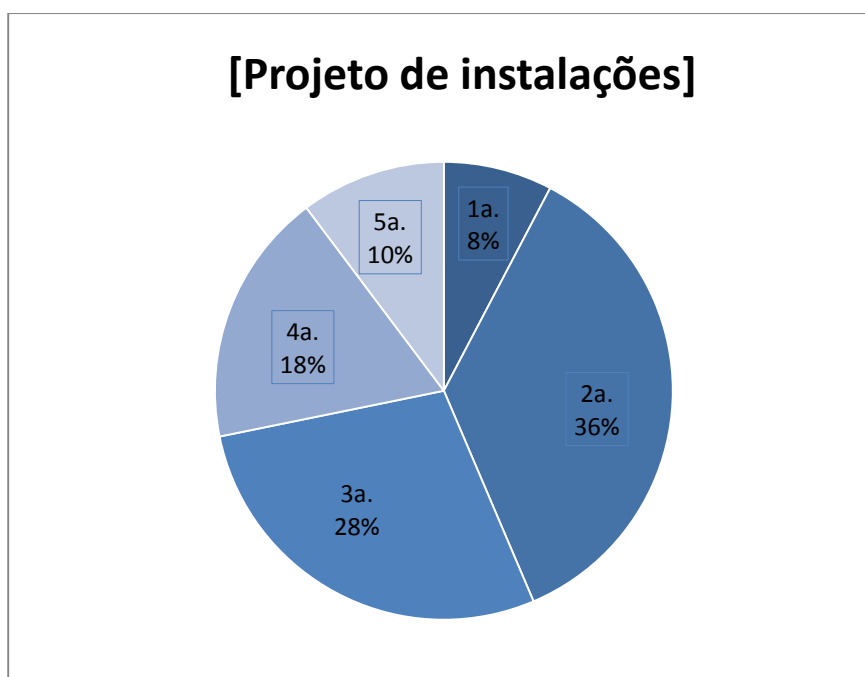
Apêndice A Gráfico 16



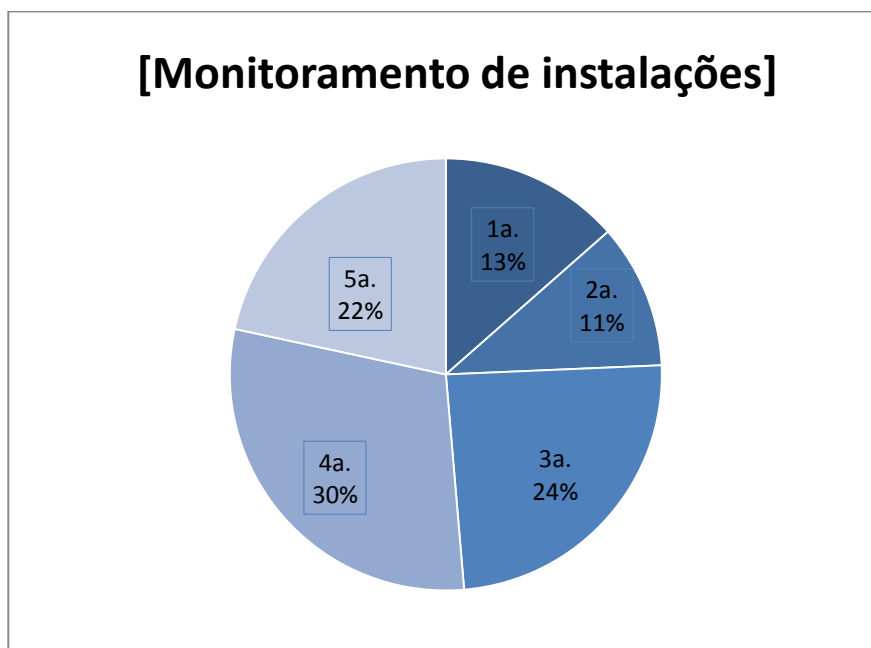
Apêndice A Gráfico 17



Apêndice A Gráfico 18

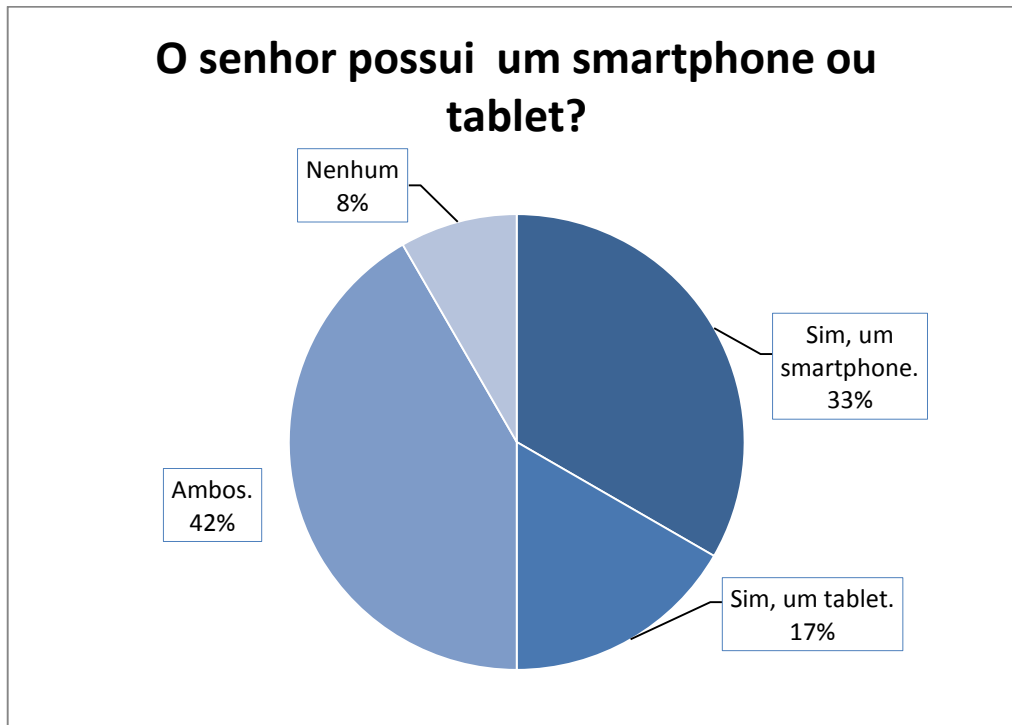


Apêndice A Gráfico 19



Apêndice A Gráfico 20

8.1.5. Questionário voltado aos professores da graduação do PEA

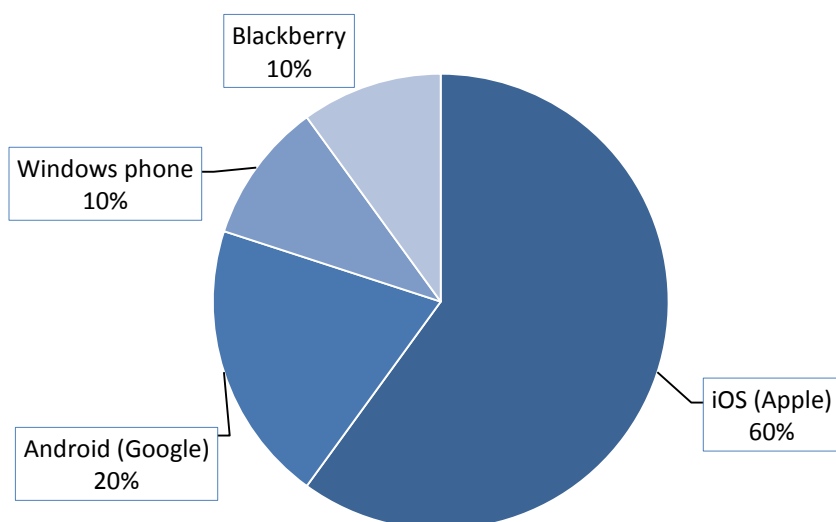


Apêndice A Gráfico 21

| Você possui smartphone/tablet? | | |
|--------------------------------|---------------|-------|
| Opções | Entrevistados | % |
| Sim, um smartphone. | 4 | 33,3% |
| Sim, um tablet. | 2 | 16,7% |
| Ambos. | 5 | 41,7% |
| Nenhum | 1 | 8,3% |

Apêndice A Tabela 13

Qual o sistema operacional do seu aparelho?



Apêndice A Gráfico 22

| Qual o sistema operacional do seu aparelho? | | |
|---|---------------|-------|
| Opções | Entrevistados | % |
| iOS (Apple) | 6 | 60,0% |
| Android (Google) | 2 | 20,0% |
| Windows phone | 1 | 10,0% |
| Other | 1 | 10,0% |

Apêndice A Tabela 14

**No caso do tablet, o senhor o
leva para a sala de aula?**

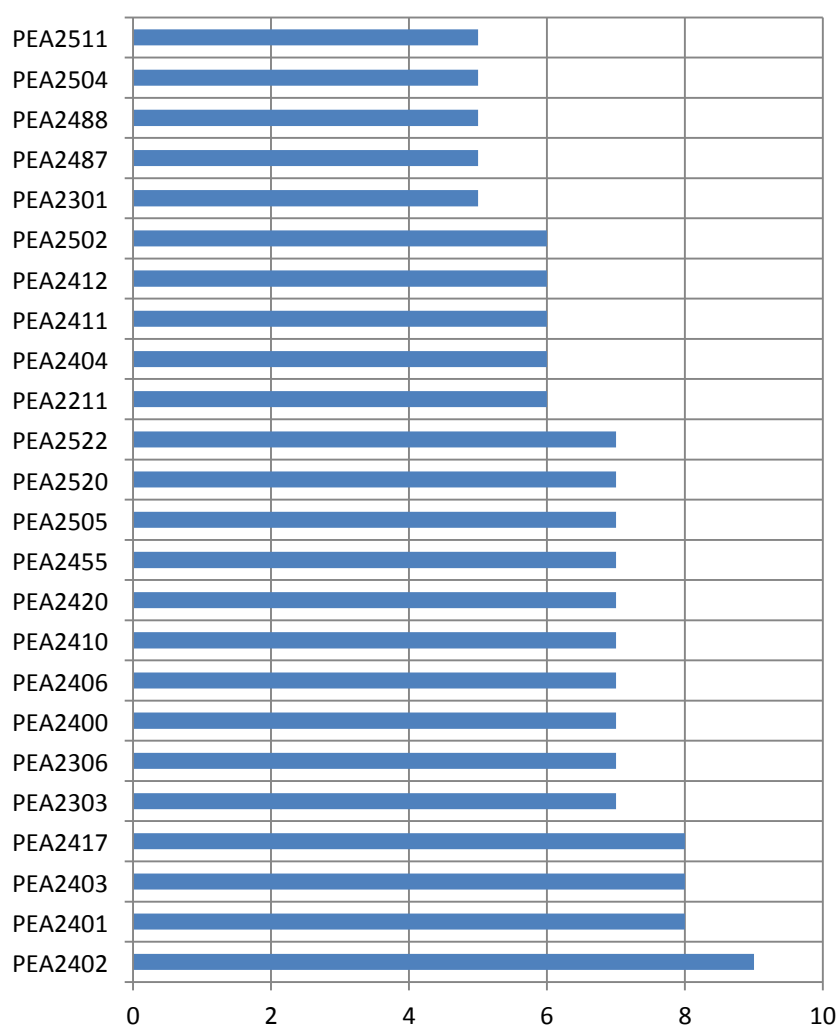


Apêndice A Gráfico 23

| No caso do tablet, você o leva para a sala de aula? | | |
|---|---------------|-------|
| Opções | Entrevistados | % |
| Sim | 4 | 33,3% |
| Não | 4 | 33,3% |
| Não possui tablet | 4 | 33,3% |

Apêndice A Tabela 15

Em quais matérias, na sua opinião, o uso de uma ferramenta computacional durante as aulas ajudaria a entender melhor os conceitos expostos?



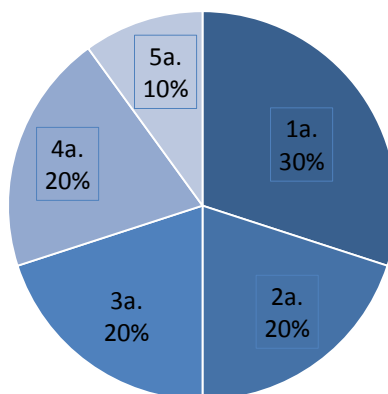
Apêndice A Gráfico 24

| Em quais matérias, na sua opinião, o uso de uma ferramenta computacional durante as aulas ajudaria a entender melhor os conceitos expostos? | |
|---|-------------|
| Disciplina | Ocorrências |
| PEA2402 - Instalações Elétricas I | 9 |
| PEA2401 - Laboratório de Instalações Elétricas I | 8 |
| PEA2410 - Sistemas de Potência I | 8 |
| PEA2406 - Laboratório de Sistemas de Potência | 8 |
| PEA2306 - Conversão Eletromecânica de Energia | 7 |
| PEA2301 - Introdução a Sistemas Elétricos de Potência | 7 |
| PEA2400 - Máquinas Elétricas I | 7 |
| PEA2487 - Eletrônica de Potência I | 7 |
| PEA2455 – Controle | 7 |
| PEA2412 - Automação de Sistemas Elétricos de Potência | 7 |
| PEA2420 - Produção de Energia | 7 |
| PEA2502 - Laboratório de Eletrônica de Potência | 7 |
| PEA2520 - Uso da Energia Elétrica | 7 |
| PEA2522 - Técnicas de Otimização em Engenharia de Potência | 7 |
| PEA2211 - Introdução à Eletromecânica e à Automação | 6 |
| PEA2411 - Introdução à Automação de Sistemas Elétricos | 6 |
| PEA2403 - Instalações Elétricas II | 6 |
| PEA2404 - Máquinas Elétricas e Seus Acionamentos | 6 |
| PEA2504 - Laboratório de Máquinas Elétricas | 6 |
| PEA2303 - Engenharia Eletromagnética | 5 |
| PEA2417 - Sistemas de Potência II | 5 |
| PEA2488 - Eletrônica de Potência II | 5 |
| PEA2511 - Transporte de Energia Elétrica | 5 |
| PEA2505 - Introdução à Automação de Sistemas Industriais | 5 |

Apêndice A Tabela 16

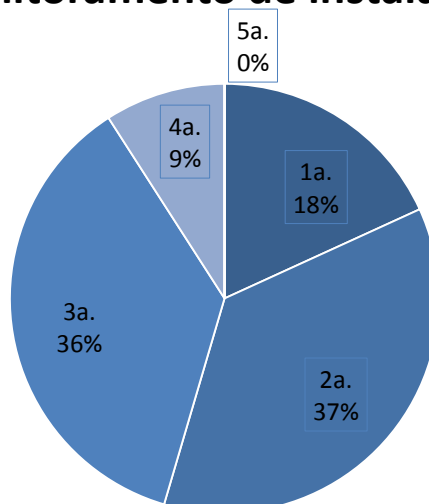
Foi pedido que se numerasse de acordo com a prioridade dentre as opções: ensino, auxílio em cálculos, eficiência energética, projeto de instalações e monitoramento de instalações, qual proporcionaria um maior benefício se desenvolvido um software/aplicativo, sendo 1ª a mais importante e 5ª menos importante.

[Eficiência energética]



Apêndice A Gráfico 25

[Monitoramento de instalações]



Apêndice A Gráfico 26

| Dentre as opções qual proporcionaria um maior benefício se desenvolvido um software/aplicativo, em sua opinião? | | |
|---|---------------|-------|
| [Ensino] | | |
| Prioridade | Entrevistados | % |
| 1a. | 9 | 81,8% |
| 2a. | 0 | 0,0% |
| 3a. | 1 | 9,1% |
| 4a. | 0 | 0,0% |
| 5a. | 1 | 9,1% |
| [Auxílio em cálculos] | | |
| 1a. | 3 | 30,0% |
| 2a. | 4 | 40,0% |
| 3a. | 0 | 0,0% |
| 4a. | 1 | 10,0% |
| 5a. | 2 | 20,0% |
| [Eficiência energética] | | |
| 1a. | 3 | 30,0% |
| 2a. | 2 | 20,0% |
| 3a. | 2 | 20,0% |
| 4a. | 2 | 20,0% |
| 5a. | 1 | 10,0% |
| [Projeto de instalações] | | |
| 1a. | 5 | 45,5% |
| 2a. | 4 | 36,4% |
| 3a. | 2 | 18,2% |
| 4a. | 0 | 0,0% |
| 5a. | 0 | 0,0% |
| [Monitoramento de instalações] | | |
| 1a. | 2 | 18,2% |
| 2a. | 4 | 36,4% |
| 3a. | 4 | 36,4% |
| 4a. | 1 | 9,1% |
| 5a. | 0 | 0,0% |

8.2. Apêndice B

Gerador de uma usina hidroelétrica (não fomos autorizados a fornecer o fabricante).

| Dado | Valor |
|------------------------------------|-----------------------|
| Potência nominal | 93.333 kVA |
| Tensão nominal | 13.800 V |
| Rotação nominal | 90 rpm |
| Fator de potência | 0,9 |
| H (constante de inércia) | 2,8 s |
| Potência máxima em regime contínuo | 93.333 kVA |
| Xd (não saturada/ saturada) | 0,955/0,833 <i>pu</i> |
| Xq | 0,681 <i>pu</i> |
| Ra | 0,006735 <i>pu</i> |
| Rf | 118.48 mΩ |

| Carga | Potencia (MVA) | Tensão (kV) | Fp | Corrente excitação (A) | Tensão excitação (V) |
|---------|----------------|-------------|-----|------------------------|----------------------|
| Nominal | 93,333 | 13,8 | 0,9 | 1617,7 | 249,9 |