

Ministério da Educação

Direcção – Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular

Ensino Recorrente de Nível Secundário

Programa

de

Sistemas Analógicos e Digitais

(de acordo com a disciplina de especificação de Práticas de Instalações Eléctricas)

12º Ano

Curso Tecnológico de Electrotecnia e Electrónica

Autores:

Henrique Gante

José Gregório

Adaptado a partir do programa elaborado por:

António Manuel Lopes da Silva Pereira (Coordenador)

Mário Alberto dos Santos Isidoro

Eurico Tomás Magos

Jorge Luís de Matos Teixeira

Homologação

26/12/2006

Índice

I – Introdução.....	3
II – Visão geral dos módulos/conteúdos.....	4
III – Desenvolvimento do programa.....	5
Módulo 7	5
Módulo 8	12
Módulo 9	16
IV – Bibliografia Geral.....	24

I. INTRODUÇÃO

A disciplina de Sistemas Analógicos e Digitais é, como já se referiu, uma disciplina trienal do Curso Tecnológico de Electrotecnia e Electrónica do ensino secundário recorrente, orientada para a fundamentação científica dos fenómenos, dos conceitos, das leis e das metodologias de análise.

Esta disciplina visou, ao longo dos 10º e 11º anos, o conhecimento dos processos de produção, transporte e distribuição da energia eléctrica, das leis gerais do circuito eléctrico, do magnetismo, do electromagnetismo e da corrente alternada e ainda o funcionamento dos circuitos básicos com condensadores, díodos e transístores, bem como o início do estudo dos amplificadores operacionais e dos sistemas digitais.

O programa do 12º ano visa, agora, o desenvolvimento do estudo dos sistemas trifásicos, das máquinas eléctricas, da electrónica de potência e da variação e regulação de velocidade/travagem.

Na gestão dos tempos lectivos considerou-se de igual modo, como nos anos precedentes, um total anual de 33 semanas, correspondentes a 66 tempos lectivos de 90 minutos cada. Esta carga horária contempla os necessários tempos lectivos destinados ao desenvolvimento das aprendizagens. O tempo restante, contemplado no calendário lectivo, destina-se à avaliação e a situações imprevistas. A atribuição da carga horária teve em atenção o desenvolvimento dos diferentes temas e o grau de aprofundamento atribuído à abordagem de cada conteúdo. A sugestão da forma como a carga horária poderá ser distribuída, com os tempos lectivos entre parêntesis, deve ser tomada como referência para a planificação das actividades lectivas, podendo ser alterada em função das diversas formas de abordagem, do processo ensino-aprendizagem e das actividades desenvolvidas.

II. Visão geral dos módulos/conteúdos

O programa do 12.º ano está estruturado com base nos seguintes módulos e temas:

- **Módulo 7 – Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas**
 - 7.1 – Noção de Sistemas Trifásicos
 - 7.2 – Transformadores
 - 7.3 – Máquinas de Corrente Alternada

- **Módulo 8 – Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência**
 - 8.1 – Motores de Corrente Contínua
 - 8.2 – Motores Especiais
 - 8.3 – Electrónica de Potência

- **Módulo 9 – Variação e Regulação de Velocidade/Travagem**
 - 9.1 – Accionamentos Eléctricos
 - 9.2 – Seccionamento
 - 9.3 – Protecção de motores
 - 9.4 – Estudo do contactor
 - 9.5 – Associações de aparelhagem
 - 9.6 – Travagem de motores
 - 9.7 – Controladores electrónicos de velocidade
 - 9.8 – Motorizações eléctricas
 - 9.9 – Transmissões mecânicas

Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min.
<p>7.1 – Noção de sistema trifásico</p> <ul style="list-style-type: none"> – Obtenção de um sistema trifásico de tensões. – Sequência de fases. – Representação gráfica. <p>7.1.1 – Ligações de receptores em estrela e em triângulo</p> <ul style="list-style-type: none"> – Tensões simples e compostas. – Relação entre intensidades nos receptores e nas linhas de alimentação. – Representação gráfica. <p>7.1.2 – Potência</p> <ul style="list-style-type: none"> – Potência em cada receptor e potência total; – Medição. Método de Aaron. 	<ul style="list-style-type: none"> – Descrever uma forma de obter de um sistema trifásico de tensões. – Representar grandezas eléctricas trifásicas usando gráficos cartesianos e vectoriais e transcrever de uma representação para outra. – Identificar os tipos de ligações trifásicas. – Explicar a obtenção do ponto neutro. – Determinar a relação de amplitude e de fase entre grandezas usando diagramas vectoriais. – Explicar as vantagens dos sistemas trifásicos, dos pontos de vista da produção e da utilização da energia. – Aplicar as expressões que relacionam as grandezas eléctricas nos sistemas trifásicos. – Determinar as correntes nas linhas e nas cargas para vários tipos de ligações e para cargas de várias naturezas. – Calcular o valor da potência nas diferentes montagens para diferentes situações de carga. – Descrever os diferentes métodos de medida da potência. 	<ul style="list-style-type: none"> – Na disciplina de Aplicações Tecnológicas de Electrotecnia/Electrónica do 11º ano já foi feita uma primeira abordagem dos sistemas trifásicos, pelo que o professor deve partir dos conhecimentos dos alunos, gerindo o tempo de forma a atingir os objectivos propostos. – Para introduzir o sistema trifásico pode usar-se a noção de um alternador trifásico bipolar de indutor móvel. – A utilização de animação multimédia (vídeo ou computador) é muito vantajosa para inter-relacionar as representações gráficas e para observar as relações entre as grandezas de um sistema trifásico. A utilização de simulação em computador é também um recurso muito importante. – Apresentar as montagens fundamentais em modelos reais ou didácticos. – Realizar a análise gráfica. 	<p>22</p> <p>(6)</p>

Sistemas Analógicos e Digitais – Desenvolvimento do programa – 12º Ano

(de acordo com a disciplina de especificação de Práticas de Instalações Eléctricas)

Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min.
<p>7.1.3 – Sistemas desequilibrados</p> <ul style="list-style-type: none">– Desequilíbrio de cargas.– Sistemas com e sem neutro. <p>7.1.4 – Compensação do factor de potência</p> <ul style="list-style-type: none">– Método de Boucherot.	<ul style="list-style-type: none">– Identificar e analisar diferentes situações de desequilíbrio. – Aplicar o método de Boucherot, no cálculo de condensadores para a compensação do factor de potência, em sistemas trifásicos.	<ul style="list-style-type: none">– Embora se possa fazer referência à montagem em triângulo desequilibrado, só a montagem em estrela deve ser analisada mais em detalhe.	

Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min.
<p>7.2 - Transformadores</p> <p>7.2.1 - Transformador monofásico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utilidade. - Constituição. Tipos construtivos. - Princípio de funcionamento. - Transformador ideal. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Relação entre grandezas primárias e secundárias. - Transformador real. <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vazio. Perdas no ferro. ▪ Carga. Perdas no cobre. ▪ Rendimento. ▪ Queda de tensão. 	<ul style="list-style-type: none"> - Justificar a importância do transformador no transporte de energia, bem como na obtenção de tensões reduzidas, no isolamento eléctrico e na adaptação de impedâncias. - Descrever a constituição e o princípio de funcionamento do transformador. - Estabelecer as relações entre as grandezas eléctricas primárias e secundárias. - Relacionar as potências dos ensaios de vazio e de c.c. com as perdas no ferro e no cobre. - Distinguir a situação do ensaio de curto-circuito do transformador, de um curto-circuito entre os seus terminais. - Descrever o comportamento da tensão secundária para várias situações de carga. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uma visita de estudo ou o tratamento de informação sobre uma subestação ou posto de transformação poderá ser o ponto de partida para o estudo dos transformadores. - Discutir com os alunos a utilidade e as aplicações dos transformadores. - Para compreensão do princípio de funcionamento, recorrer aos conhecimentos que os alunos obtiveram no estudo do electromagnetismo feito no 10º ano e, se necessário, fazer uma breve revisão. - Considera-se indispensável que o estudo teórico da máquina seja acompanhado em simultâneo, da execução dos ensaios laboratoriais. - Deve ser sempre privilegiado o tratamento físico dos fenómenos. - O tratamento matemático deve ser simples e apoiado em gráficos. - Para este nível de ensino parece dispensável a aplicação do modelo matemático de Kapp para o estudo da queda de tensão, bastando uma abordagem física deste fenómeno. Do mesmo modo, dispensar-se-á a aplicação do esquema equivalente do transformador e dos seus parâmetros. 	<p>(6)</p>

Módulo 7: Sistemas Trifásicos e Máquinas Eléctricas

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min.
<p>7.2.2 - Transformador trifásico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Constituição. - Fluxo. Polaridade. - Modos de ligação dos enrolamentos. - Grupos de ligação. Notação horária. - Relação de transformação. - Paralelo de transformadores trifásicos. <p>7.2.3 - Transformadores especiais</p> <ul style="list-style-type: none"> - Autotransformador. - Transformadores do número de fases. - Transformadores de medida: <ul style="list-style-type: none"> ▪ de tensão (TT). ▪ de intensidade (TI). - Transformador de dispersão. 	<ul style="list-style-type: none"> - Descrever sucintamente a constituição de um transformador trifásico. - Interpretar as indicações da chapa de características. - Identificar os tipos de ligação mais usuais. - Comparar as vantagens de cada tipo de ligação. - Interpretar a notação horária. - Relacionar os grupos de ligação com a respectiva utilização. - Deduzir a relação de transformação. - Enunciar e justificar as condições para efectuar o paralelo de transformadores. - Identificar as vantagens dos transformadores especiais e as suas aplicações. 	<ul style="list-style-type: none"> - Obter, graficamente, a notação horária do transformador, utilizando diagramas vectoriais. - Sugere-se a determinação do índice horário, para duas ou três situações de ligação, assim como a dedução da respectiva relação de transformação. - Breve referência às montagens de Scott e de Leblanc. - Realçar a importância dos transformadores de medida. - Apresentar desenhos esquemáticos de PT, identificando os principais dispositivos. 	

Módulo 7: Sistemas trifásicos e Máquinas Eléctricas

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p>7.3 - Máquinas de corrente alternada</p> <p>7.3.1 - Motor assíncrono trifásico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Constituição. - Criação do campo girante. - A indução no rotor. - Escorregamento. <p>7.3.2 - Motor de rotor em curto-circuito</p> <ul style="list-style-type: none"> - Constituição do rotor. - Curva característica de intensidade. - Curva característica de binário; - Rotores especiais. - Gaiola de ranhura profunda. - Dupla gaiola. - Processos de arranque escalonado: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Estrela – triângulo. ▪ Por resistências estatóricas. ▪ Por autotransformador. 	<ul style="list-style-type: none"> - Explicar a criação de um campo magnético girante produzido por um sistema trifásico de três enrolamentos. - Justificar a alteração do sentido de rotação do campo girante pela troca de duas fases. - Relacionar a velocidade do campo girante com a frequência e com o número de pares de pólos. - Explicar o aparecimento de correntes induzidas no rotor e o conseqüente binário motor e relacionar a frequência dessas correntes com a velocidade de rotação. - Relacionar a aceleração com a diferença entre os binários motor e resistente. - Justificar a necessidade de escorregamento do rotor. - Justificar a alta intensidade de corrente e o baixo binário no arranque e a variação destas grandezas com a velocidade. - Enumerar as vantagens do motor assíncrono e a razão das suas inúmeras aplicações. - Avaliar o comportamento dinâmico do motor, justificando a variação do ponto de funcionamento com o binário resistente e prevendo as variações relativas das várias grandezas mecânicas e eléctricas em jogo. - Interpretar a chapa de características. 	<ul style="list-style-type: none"> - A utilização de meios audiovisuais e, sobretudo, de animação (em vídeo ou computador) é muito vantajosa para a compreensão dos vários fenómenos presentes nas máquinas rotativas. - Numa primeira abordagem o motor assíncrono pode ser comparado com um transformador em que o secundário (induzido) pode rodar. Começar por estudar a situação de rotor bobinado em aberto (transformador em vazio) e passar depois à situação de enrolamentos fechados com o aparecimento da corrente rotórica e do binário motor. Analisar o comportamento das várias grandezas mecânicas (binários motor e resistente, velocidade) e eléctricas (tensão, intensidade e frequência rotóricas e intensidade estatórica) durante o arranque do motor até se anular a aceleração. - Discutir a alteração do ponto de funcionamento com a variação do binário resistente. Discutir a necessidade de limitar a corrente de arranque através de processos construtivos ou de arranques escalonados. 	<p>(10)</p>

Módulo 7: Sistemas trifásicos e Máquinas Eléctricas

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<ul style="list-style-type: none"> – Motores de várias velocidades. <ul style="list-style-type: none"> ▪ De enrolamentos separados. ▪ <i>Dahlander</i>. <p>7.3.3 - Motor de rotor bobinado</p> <ul style="list-style-type: none"> – Constituição do rotor. – Curva característica de intensidade. – Curva característica de binário. – Arranque por resistências rotóricas. <p>7.3.4 - Motores monofásicos</p> <ul style="list-style-type: none"> – Motor de enrolamento auxiliar. – Motor de pólo dividido e anel em curto-circuito. – Motor de arranque assíncrono e de rotação síncrona. – Motor universal. – Motor de repulsão. 	<ul style="list-style-type: none"> – Descrever e comparar processos de arranque que limitem a intensidade de corrente nos motores de rotor em c.c.. Prever as consequências desses processos de limitação sobre o binário de arranque. – Interpretar os esquemas de ligações para o comando de motores de várias velocidades, para um ou para dois sentidos de marcha, sem ou com arranque obrigatório em pequena velocidade. – Comparar as características dos vários tipos de motores de rotor em c.c. e destes com os de rotor bobinado. – Distinguir os vários tipos de binário resistente (constante, crescente e decrescente) e estabelecer critérios de escolha do motor em função das características da máquina accionada. – Descrever o processo de arranque por resistências rotóricas, variáveis ou escalonadas e compará-lo com os processos de arranque de motores de rotor em c.c.. – Descrever sucintamente a constituição, o funcionamento e as características dos vários tipos de motores monofásicos. – Enumerar aplicações dos vários tipos de motores monofásicos. 	<ul style="list-style-type: none"> – A ênfase deve ser posta na interpretação física dos fenómenos que permita um conhecimento do comportamento dos vários tipos de motores, tendo em vista a escolha para determinada aplicação e o adequado controlo do seu funcionamento. – A utilização de modelos matemáticos (esquemas equivalentes e respectivos parâmetros) é dispensável para o nível deste curso. 	

Módulo 7: Sistemas trifásicos e Máquinas Eléctricas

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p>7.3.5 – Alternador</p> <ul style="list-style-type: none"> – Constituição e princípio de funcionamento. – Tipos construtivos. – Força electromotriz. – Regulação de frequência e de força electromotriz. – Curvas características: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Interna ou de vazio. ▪ Externa ou de carga. 	<ul style="list-style-type: none"> – Descrever a constituição e o funcionamento do alternador monofásico e trifásico. – Identificar e distinguir os vários tipos de alternadores quanto a: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de indutor (fixo ou móvel). ▪ Número de fases. ▪ Número de pólos. ▪ Tipo de rotor. – Identificar e caracterizar os vários tipos de ligações dos enrolamentos do induzido do alternador trifásico. – Estabelecer a relação entre a f.e.m. e outras grandezas de que depende (velocidade, fluxo indutor, número de pares de pólos, número de condutores por fase e outras características da máquina). – Estabelecer a relação entre a frequência da f.e.m. e a velocidade de rotação. – Relacionar a regulação da f.e.m. com a actuação sobre a corrente de excitação. – Descrever a curva da característica interna, justificando a zona linear e a zona de saturação. – Descrever e justificar a curva da característica externa para cargas de várias naturezas (resistiva, indutiva e capacitiva). 	<ul style="list-style-type: none"> – A discussão do papel dos alternadores nas centrais de produção de energia eléctrica poderá ser o ponto de partida para o estudo do alternador. – Pretende-se que os alunos venham a conhecer a constituição básica e o funcionamento da máquina síncrona a trabalhar como alternador. Contudo, não se fará a abordagem do seu funcionamento como motor ou como compensador síncrono, deixando esse estudo para uma futura oportunidade, se a vida profissional ou o prosseguimento dos estudos o proporcionar ou o exigir. – Também se exclui o estudo de modelos matemáticos como o de Bechn-Eschenburg. Far-se-á, portanto, uma abordagem mais física da máquina. – Discutir a aplicação do princípio de conservação de energia nas transferências energéticas da máquina, identificando as consequências da variação da potência pedida pela rede alimentada pelo alternador sobre a máquina motora que o acciona e as implicações que isso tem sobre a regulação de velocidade do grupo motor-gerador. 	

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p>8.1 – Motores de corrente contínua</p> <p>8.1.1 - Constituição</p> <p>8.1.2 - Funcionamento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Princípio de funcionamento. - Binário e potência mecânica. - Força contra-electromotriz. - Intensidade de corrente de arranque. - Rendimento. - Reacção magnética do induzido e calagem das escovas. <p>8.1.3 - Tipos de ligação do induzido</p> <ul style="list-style-type: none"> - Derivação. - Série. - Composta. <p>8.1.4 - Curvas características</p> <ul style="list-style-type: none"> - De velocidade. - De binário. - Mecânica. <p>8.1.5 - Controlo do sentido de rotação, do arranque e da velocidade</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Descrever sucintamente a constituição de um motor de corrente contínua. - Descrever a função dos diferentes elementos e as respectivas características. - Explicar o princípio de funcionamento. - Relacionar as grandezas mecânicas postas em jogo (binário, velocidade e potência). - Explicar o aparecimento da força contra-electromotriz (f.c.e.m.) e a sua função na transferência de potência. - Relacionar a f.c.e.m. com a velocidade de rotação. - Relacionar a f.c.e.m. com a tensão e com a corrente e explicar a necessidade de limitação da corrente no arranque. - Identificar os vários tipos de perdas na transferência de potência do motor. - Interpretar e descrever o fenómeno da reacção magnética do induzido e justificar a necessidade de calagem das escovas. - Identificar as curvas características dos vários tipos de motores de c.c. e relacioná-las com as respectivas aplicações. - Enumerar e justificar aplicações dos vários tipos de motores de c.c.. - Interpretar a chapa de características. - Identificar os terminais. - Estabelecer e interpretar esquemas de controlo do sentido de rotação, do arranque e de velocidade dos vários tipos de motores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se possível, estudar uma máquina de c.c. em corte ou desmontada e identificar cada elemento, suas características e sua função. - Recordar a lei de Laplace na abordagem do funcionamento do motor. Começar por considerar um induzido de uma só espira alimentada, mergulhada no campo indutor, introduzindo a necessidade do colectador, evoluindo depois para induzidos e colectores mais complexos. - A utilização de animação audiovisual poderá ser muito útil. - Recordar a lei de Lenz no estudo da f.c.e.m.. Referir o princípio da conservação da energia e discutir o papel da f.c.e.m. na transferência de potência da máquina. - Devem ser evitados desenvolvimentos teóricos excessivos. O mais importante no estudo dos motores é compreender o comportamento dos vários tipos, no sentido de basear critérios de escolha para determinada aplicação e de fazer o controlo do seu funcionamento (sentido de rotação, arranque, variação de velocidade e travagem). O conhecimento da constituição e do funcionamento é útil para a detecção de avarias e manutenção. 	<p>22</p> <p>(9)</p>

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p>8.2 - Motores especiais</p> <p>8.2.1 - Motor passo-a-passo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Constituição. Tipos construtivos. - Princípio de funcionamento. - Dispositivos de controlo. - Vantagens e aplicações. <p>8.2.2 - Motor de c.c. sem escovas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Constituição. - Princípio de funcionamento. - Número de fases do estator. - Vantagens e aplicações. 	<ul style="list-style-type: none"> - Descrever a constituição dos motores passo-a-passo dos vários tipos (de íman permanente, de relutância variável e híbridos). - Enumerar as vantagens destes motores. - Comparar os vários tipos construtivos, designadamente no que diz respeito ao binário motor, binário de retenção, consumo e custo. - Descrever o princípio de funcionamento e a forma de obter a sequência de fases necessária para a rotação em passo inteiro e em meio passo. - Identificar os terminais de um motor e as ligações internas. - Interpretar o esquema de um dispositivo de controlo. - Descrever a constituição e explicar o princípio de funcionamento dos motores de corrente contínua sem colectores nem escovas. - Enumerar algumas possibilidades de constituição do estator quanto ao número de fases e suas ligações. - Interpretar esquemas do dispositivo de controlo electrónico da sequência de fases e de criação do campo girante. - Reconhecer as vantagens e as aplicações dos motores de c.c. sem escovas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Entre as qualidades do motor passo-a-passo, referir a repetibilidade, a facilidade de controlo de deslocamento angular, de velocidade, de paragem e de sentido de rotação. - Consultar informação técnica de fabricantes de motores e dos respectivos circuitos de controlo. - Os motores de c.c. sem escovas (<i>brushless motors</i>), também chamados servomotores auto-síncronos, devem o seu sucesso ao desenvolvimento da electrónica de comutação, dos detectores de posição e dos materiais magnéticos. Entre as suas qualidades, referir a sua eficiência, a longa vida, o baixo consumo, o baixo ruído e facto do seu circuito de controlo já fazer a regulação de velocidade. - É também vantajosa a consulta de informação técnica de fabricantes, quer em suporte de papel, quer em suporte multimédia (Internet, por exemplo). 	<p>(2)</p>

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p>8.3 – Electrónica de potência</p> <p>8.3.1 - Componentes de potência</p> <ul style="list-style-type: none"> – Díodo. – Tiristor. – SCR. – Triac. – GTO. – Transístor de potência. – Bipolar. – MOSFET. <p>8.3.2 - Circuitos de disparo</p> <ul style="list-style-type: none"> – Malha RC. – Diac. – UJT. – Amplificadores operacionais. – Circuitos integrados dedicados. <p>8.3.3 - Condições de funcionamento</p> <ul style="list-style-type: none"> – Dissipação do calor. – Protecção contra sobretensões e contra sobrecorrentes. – Isolamento entre o circuito de potência e o de disparo. 	<ul style="list-style-type: none"> – Definir electrónica de potência e justificar a sua necessidade. – Descrever a constituição e o funcionamento dos diversos componentes da electrónica de potência e identificar as respectivas curvas características. – Definir e identificar estados de bloqueio e de condução. – Identificar e utilizar a simbologia dos componentes. – Apontar aplicações dos vários componentes, relacionando-as com as respectivas características. – Indicar critérios para a escolha e dimensionamento de componentes. – Justificar a necessidade de circuitos de disparo. – Descrever a constituição e o funcionamento dos diferentes circuitos de disparo. – Dimensionar circuitos de disparo de baixa complexidade (malha RC). – Definir e explicar as condições de funcionamento dos dispositivos de electrónica de potência. 	<ul style="list-style-type: none"> – Sugere-se uma revisão dos conceitos fundamentais dos componentes (díodo, díodo zener, transístor), já estudados nos 10º e 11º anos. – Analisar aplicações concretas de electrónica de potência e discutir as suas possibilidades e limitações. – Acompanhar o estudo dos vários componentes e dos circuitos de disparo com exemplos concretos de aplicação. – Relacionar a escolha de um componente para uma dada aplicação com as respectivas características. – Consultar informação técnica de fabricantes (catálogos, manuais, CD-ROM, Internet) para o estudo dos componentes, seus parâmetros e limites de utilização. 	<p>(11)</p>

Módulo 8: Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p>8.3.4 – Rectificação controlada</p> <ul style="list-style-type: none"> – Monofásica. – Trifásica. <p>8.3.5 – Conversores</p> <ul style="list-style-type: none"> – Conversor c.a./c.c. (rectificador). – Conversor c.c./c.a. (ondulador). – Conversor c.a./c.a.. – Conversor c.c./c.c.. <p>8.3.6 – Opto-electrónica</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fotodíodos. – Fototransístor. – Fototriac. – Opto-acoplador. 	<ul style="list-style-type: none"> – Descrever o comportamento do tiristor como interruptor unidirecional controlado e a sua aplicação na rectificação controlada. – Descrever o funcionamento de rectificadores controlados mono e trifásicos de baixa complexidade. – Definir e identificar os vários tipos de conversores. – Descrever sumariamente o funcionamento de cada um dos circuitos conversores. – Indicar aplicações dos vários tipos de conversores. – Descrever a constituição e o funcionamento dos dispositivos de interface óptico. 	<ul style="list-style-type: none"> – Privilegiar a análise gráfica no tratamento dos rectificadores controlados. 	

Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p>9.1 – Accionamentos eléctricos</p> <p>9.1.1 - As funções de controlo de potência eléctrica</p> <ul style="list-style-type: none"> – Seccionamento. – Protecção. – Manobra: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Binária. ▪ Analógica ou contínua. – Comando: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Por lógica cablada. ▪ Por lógica programada. – Dialogo entre a parte de comando e as funções de seccionamento, protecção e manobra. <p>9.2 – Seccionamento</p> <ul style="list-style-type: none"> – Seccionador. – Interruptor. – Interruptor-seccionador. 	<ul style="list-style-type: none"> – Definir e distinguir as várias funções de controlo de potência eléctrica e identificar a aparelhagem que executa essas funções. – Definir poder de corte de um aparelho. – Identificar aparelhos que realizam funções múltiplas. – Enquadrar a função de protecção nas restantes funções de controlo de potência eléctrica. – Distinguir manobra binária (directa ou escalonada) de manobra contínua ou progressiva e identificar a aparelhagem que executa cada tipo. Enumerar várias manobras dos vários tipos. – Distinguir comando por lógica cablada de comando por lógica programada. – Identificar as ordens vindas da parte de comando para a aparelhagem de manobra e as informações dos estados de operação vinda da diversa aparelhagem para a parte de comando. – Descrever as características de um aparelho de seccionamento, a sua função e as condições em que deve ser operado. – Identificar os contactos principais e auxiliares de um aparelho de seccionamento ou de manobra e descrever as suas funções e características de operação. 	<ul style="list-style-type: none"> – Utilizar o RSIUEE para definir as várias funções de controlo de potência eléctrica e identificar a aparelhagem e as normas a que deve obedecer. – Os conceitos relacionados com o controlo de potência eléctrica aplicam-se, naturalmente, a todo o tipos de instalações de utilização de energia eléctrica. Contudo, neste capítulo, dedicaremos especial atenção ao controlo de motores eléctricos. – O tema das protecções eléctricas já foi abordado na disciplina de Aplicações Tecnológicas de Electrotecnia/Electrónica do 11º ano. Pretende-se aqui consolidar os conhecimentos já adquiridos, aprofundar os conceitos e a experiência sobre os aparelhos de protecção e desenvolver competências de escolha tecnológica e dimensionamento de protecção de motores, tendo em conta a especificação terminal que os alunos estão a frequentar. Não deve, todavia, cair-se em exageros de aprofundamento teórico que esteja além do âmbito do curso. 	<p>22</p> <p>(2)</p> <p>(2)</p>

Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p>9.3 - Protecção de motores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aparelhagem de protecção: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Corta-circuitos fusível. ▪ Disjuntores. - Regulamentação do arranque e protecção de motores. - Dimensionamento das protecções contra sobrecargas e contra curtos-circuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterizar os vários tipos e as várias classes de serviço dos corta-circuitos fusíveis. - Distinguir as características, de tempo instantâneo, de tempo independente e combinadas, dos relés de protecção. - Relacionar característica de tempo de uma protecção contra sobreintensidades com a curva de fadiga térmica da instalação protegida. - Descrever sucintamente o princípio de funcionamento dos relés térmicos e electromagnéticos. - Identificar os valores característicos da grandeza actuante que definem um relé de intensidade. - Definir disjuntor e descrever a função de cada um dos seus elementos. - Utilizar os conceitos e as normas regulamentadas no RSIUEE para seleccionar e dimensionar as protecções dos motores eléctricos contra sobrecargas, curtos-circuitos, falta de tensão ou sub-tensão e falta de fase, considerando as condições e características de arranque e de funcionamento da máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> - Recorrer aos conhecimentos e à experiência dos alunos para discutir os defeitos eléctricos e suas consequências, bem como as qualidades que deve ter um sistema de protecção. - Levar os alunos a consultar o RSUIEE no que diz respeito à definição dos vários conceitos e regras relacionadas com a protecção de instalações e equipamentos, especialmente de motores eléctricos, bem como com os aparelhos de protecção e dispositivos associados. - Familiarizar os alunos com a consulta de informação técnica de fabricantes e distribuidores, quer impressa, quer em suporte multimédia, para o estudo dos aparelhos de protecção. 	<p>(2)</p>

Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p>9.4 - Estudo do contactor</p> <ul style="list-style-type: none"> - Função e classificação. - Características e vantagens. - Constituição e funcionamento. - Comportamento em c.a. e em c.c.. - Contactos eléctricos. - Processos de extinção do arco eléctrico. - Relés e contactores estáticos. - Acessórios: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Contactos auxiliares normais e temporizados. ▪ Encravamentos. ▪ Limitadores de extracorrente de corte. - Escolha e dimensionamento de contactores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Definir contactor e enumerar as suas características eléctricas e mecânicas. - Demonstrar que o contactor facilita o comando à distância, a sinalização dos estados de operação, bem como a interligação com a restante aparelhagem de protecção, seccionamento e comando. - Descrever a constituição de um contactor e as funções e características dos seus vários elementos. - Enumerar as vantagens do contactor. - Distinguir o comportamento em c.a e em c.c. e identificar formas de limitar o consumo da bobina. - Definir arco eléctrico e descrever sumariamente o seu funcionamento. - Justificar as principais técnicas de extinção do arco eléctrico usadas no contactor. - Descrever as características dos contactos eléctricos. - Descrever sumariamente a constituição, o funcionamento e as características dos relés e dos contactores estáticos. - Distinguir os vários tipos de contactos auxiliares, suas características de operação e suas utilizações. - Descrever as funções e a forma de utilização dos vários acessórios dos contactores. - Definir e utilizar critérios de escolha e de dimensionamento de contactores. 	<ul style="list-style-type: none"> - A função de manobra, entendida como a modificação do estado de funcionamento de um circuito, é também designada por pré-accionamento, por comutação e até por comando. Pretende-se distinguir, por uma questão de clarificação de conceitos, a manobra binária da manobra contínua. A primeira é do tipo tudo-ou-nada, tipicamente executada por contactores e refere-se, por exemplo, ao arranque directo ou escalonado de motores, à comutação de velocidade e de sentido de marcha e ainda à travagem. A segunda é executada por dispositivos electrónicos como arrancadores e variadores de velocidade, que realizam o controlo de arranque, de velocidade e de travagem de motores de forma progressiva. - Consultar informação técnica de fabricantes. 	<p>(3)</p>

Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p>9.5 - Associações de aparelhagem</p> <ul style="list-style-type: none"> – Tipos de associação. – Aparelhagem de funções múltiplas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Disjuntor magneto-térmico. ▪ Contactor-disjuntor. ▪ Seccionador-contactor-disjuntor. – Escolha e dimensionamento do disjuntor. – Coordenação da vária aparelhagem. <p>9.6 - Travagem de motores</p> <ul style="list-style-type: none"> – Processos de travagem: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mecânica por electro-freio ou freio hidráulico. ▪ Por contracorrente. ▪ Por injeção de corrente rectificada. – Esquemas de controlo de travagem de motores. 	<ul style="list-style-type: none"> – Fazer a integração da aparelhagem das várias funções de controlo de potência eléctrica, seleccionando-a e dimensionando-a de forma a garantir a sua conveniente coordenação. – Identificar os aparelhos de funções múltiplas. – Justificar a necessidade de travagem de motores. – Descrever e caracterizar os vários processos de travagem. – Comparar os vários processos de travagem, nomeadamente no que diz respeito à forma de dissipação da energia cinética, aos desgastes mecânicos, aos esforços mecânicos e térmicos, e à necessidade de detecção do momento de paragem. – Desenhar e interpretar esquemas de potência e de comando por lógica cablada, para diversos tipos de travagem de motores eléctricos. 		<p>(2)</p> <p>(2)</p>

Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p>9.7 - Controladores electrónicos de velocidade</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipos de controladores. - Quadrantes de funcionamento. - Funcionalidades: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aceleração controlada. ▪ Variação de velocidade. ▪ Regulação de velocidade. ▪ Desaceleração controlada. ▪ Travagem. ▪ Inversão de marcha. ▪ Limitação de corrente. ▪ Protecções eléctricas. ▪ Sequência de fases. - Graduador de tensão: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Constituição e funcionamento. ▪ Funcionalidades. ▪ Esquemas de ligação. ▪ Arranque de vários motores com o mesmo arrancador. - Rectificador controlado para motor de c.c.: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Constituição e funcionamento. ▪ Funcionalidades. ▪ Esquemas de ligação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Justificar a substituição, em certas aplicações, dos arranques binários pelo arranque contínuo com arrancador ou variador de velocidade electrónico. - Estabelecer um diagrama de blocos para descrição sumária do módulo de controlo e do módulo de potência de um controlador electrónico de velocidade. - Identificar e definir o funcionamento de um motor nos quatro quadrantes. - Definir cada uma das funcionalidades dos arrancadores e variadores. - Definir os vários modos de funcionamento: unidirecional, reversível, a binário constante, a potência constante, hipersíncrono, etc. - Identificar os vários tipos de controladores electrónicos de velocidade. - Descrever sumariamente a constituição e o princípio de funcionamento de cada tipo de controlador electrónico de velocidade. - Especificar as funcionalidades de cada tipo de controlador. - Estabelecer os critérios de escolha de controladores de velocidade. - Desenhar e interpretar esquemas de ligação de arrancadores e de variadores de velocidade. 	<ul style="list-style-type: none"> - Os controladores electrónicos de velocidade abrangem os arrancadores progressivos (graduadores de tensão) e os variadores de velocidade. Ressalvando as suas especificidades, servem para fazer o controlo do arranque, da velocidade, da travagem e do sentido de marcha dos motores. Notar que os graduadores de tensão, além de servirem de arrancadores (e travadores) de motores assíncronos, também se aplicam para ligar e desligar de forma progressiva cargas resistivas. - Os controladores electrónicos de motores passo-a-passo e de servomotores auto-síncronos, para além de gerarem a sequência de fases que produz o campo girante nos enrolamentos indutores, também servem para controlar a velocidade e o sentido de marcha dos motores. - Quanto à constituição interna e ao funcionamento interno dos vários tipos de controladores electrónicos de velocidade não é necessário entrar em grandes detalhes. 	<p>(4)</p>

Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<ul style="list-style-type: none"> – Conversor de tensão-frequência para motores as-síncronos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Constituição e funcionamento. ▪ Funcionalidades. ▪ Esquemas de ligação. – Controlador/variador para ser-vo-motor auto-síncrono: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Constituição. ▪ Princípio de funcionamento. ▪ Funcionalidades. ▪ Esquemas de ligação. <p>9.8 - Motorizações eléctricas</p> <ul style="list-style-type: none"> – Caracterização da máquina accionada: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Curva característica do binário; resistente (constante, crescente ou decrescente). ▪ Binário de inércia. ▪ Potência. ▪ Frequência de rotação. ▪ Variação e regulação de velocidade. – Escolha do tipo de motor e do tipo de arranque. 	<ul style="list-style-type: none"> – Caracterizar as máquinas a serem accionadas. – Enumerar e identificar casos práticos de máquinas com diferentes curvas características de binários em função da velocidade. – Estabelecer e usar critérios adequados de escolha e dimensionamento de motores e de escolha do tipo de controlo do arranque, da velocidade e da travagem, em função das características da máquina a ser accionada. 	<ul style="list-style-type: none"> – Discutir exemplos reais de máquinas accionadas com diversas características de binário (elevadores, bombas, ventiladores, centrifugadores, trituradores, compressores, transportadores, desenroladores, etc.). 	<p>(2)</p>

Módulo 9: Variação e Regulação de Velocidade/Travagem

Temas/Conteúdos	Objectivos	Sugestões metodológicas	Aulas de 90 min
<p>9.9 - Transmissões mecânicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acoplamentos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rígido. ▪ Elástico. - Transmissão de movimentos rotativos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Transmissão por correias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Justificar a necessidade de alinhamento de veios nos acoplamentos e definir desvios de alinhamento. - Descrever e comparar vários tipos de acoplamentos (de disco rígido, de fole, de juntas ou cardans elásticos, de molas, etc.). - Enumerar vantagens e inconvenientes da transmissão de movimentos por correias. - Explicar a possibilidade de alteração da velocidade angular entre o veio mandante e o mandado. - Calcular a razão de transmissão entre dois ou mais pares de tambores. - Justificar a conservação de energia (e de potência) na transmissão de movimentos (desprezando atritos). - Definir as condições necessárias ao alinhamento de eixos e tambores. - Enunciar as condições para aumentar o arco de contacto das correias. - Enunciar as condições para diminuir o escorregamento (alinhamento de tambores, relação máxima de diâmetros de tambores, distância mínima entre veios, tensão, qualidade e estado da correia, escolha do ramo tirante). 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar exemplos práticos da indústria para debater e dimensionar transmissões cinemáticas em função de binários ou de velocidades lineares ou angulares desejadas. - Dar maior relevo à transmissão por correias por ser a que necessita de maiores cuidados de manutenção. 	<p>(3)</p>

IV. Bibliografia Geral

Alain, H., Claude N. & Michel P. (1985). *Machines Électriques, Électronique de Puissance. Le Technicien Dunod*. Paris: Bordas.

(Recomendado para docentes).

André, S. (1987). *Cours de Schémas d'Électricité*, Tomo 2. Paris: Édition Eyrolles.

(Recomendado para o estudo da regulação de velocidade e travagem de motores assíncronos. Aconselhado aos docentes).

Arnold, R. & Stehr, W. (1972). *Máquinas Eléctricas* (2 vols.). S. Paulo: E.P.U.

(Tradução brasileira do original alemão. Abordagem bastante prática das máquinas eléctricas, de fácil consulta pelo aluno).

Barry, J. (1978). *Schémas d'Électricité*. Paris: Édition Eyrolles.

(Existe a tradução portuguesa editada pela Presença. Contém, entre muitos outros temas, variados esquemas de controlo de arranque e travagem de motores, bem como de comutação de sentido de marcha e de velocidade. Acessível ao aluno).

Bellier, M. & Galichon, A. (1972). *Machines Électriques, Terminal F3*. Paris: Delagrave.

(Livro didáctico para consulta do professor).

Grupo Schneider (1995). *Variação de Velocidade, Curso de formação*. Lisboa: autor.

(Estudo da variação e regulação de velocidade. Aconselhado a docentes e alunos).

Guérin, D. et al. (1994). *Esquemateca – Tecnologias do Controlo Industrial*. Paris: Éditions CI-TEF.

(Manual sobre o controlo de potência eléctrica e de motores com algum tratamento teórico e diversos exemplos práticos. Acessível à consulta por parte dos alunos).

Heumann, K. (1981). *Fundamentos de la Electrónica de Potencia*. Madrid: Paraninfo – AEG-Telefunken.

(Tratamento aprofundado da electrónica de potência e dos conversores de velocidade. Para o professor).

Leote, L. E. & Matias, J. (1982). *Sistemas de Protecção Eléctrica*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para aluno).

Leote, L. E. & Matias, J. (1982). *Automatismos Industriais – Comando e Regulação*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para aluno no que se refere ao estudo do contactor).

Malmaison, R. (1991). *La Commande d'Axe – Théorie et Applications Industrielles*. Paris: Éditions CITEF.

(Edição com a colaboração da Télémecanique. Para o professor aprofundar o tema do controlo de eixo e de posição).

Malvino, A. P. (1991). *Electrónica no Laboratório*. S. Paulo: McGraw-Hill.

(Recomendado para alguns trabalhos práticos de componentes electrónicos. Aconselhado aos docentes).

Matias, J. (1990). *Máquinas Eléctricas: Corrente Alternada e Corrente Contínua*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para o aluno).

Niard, J. (1984). *Électronique, Terminal F3*. Paris: Nathan Technique.

(Recomendado para docentes).

Niard, J. (1985). *Machines Électriques, Terminal F3*. Paris: Nathan Technique.

(Recomendado para docentes).

Papenkort, F. (1989). *Esquemas Eléctricos de Comando e Protecção*. S. Paulo: E.P.U.

(Tradução brasileira do original alemão. Contém muitos esquemas de controlo de arranque e travagem de motores, bem como de comutação de sentido de marcha e de velocidade. Acessível ao aluno).

Pinto, A. & Caldeira, J. (1996). *Tecnologias, 12º Ano*. Porto: Porto Editora.

(Recomendado para o estudo dos componentes da electrónica de potência. Aconselhado aos alunos).

Rodrigues, J. & Matias, J. (1984). *Transformadores*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Pode ser usado pelos alunos, apesar de conter tratamento matemático que ultrapassa o nível do curso).

Schuler, C. M. (1986). *Industrial Electronics and Robotics*. E.U.A.: McGraw-Hill.

(Recomendado ao professor. Tratamento prático de temas como a electrónica de potência, controlo de motores).

Silva, V. (1991). *Trabalhos Práticos de Electrónica, 11º ano*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para os trabalhos de transístores bipolares e de efeito de campo).

Silva, V. (1991). *Trabalhos Práticos de Electrónica, 12º ano*. Lisboa: Didáctica Editora.

(Recomendado para os trabalhos de amplificadores operacionais – regulação).

Télémecanique (1988). *Électronique de puissance* (catálogo). Paris: autor.

(Estudo dos componentes da electrónica de potência, aconselhado aos docentes).