

SUBA

O Museu Faraday vai ter expostos alguns exemplares dos diferentes SUBAs que foram criados a partir de 2002 no IST Taguspark.

Um pouco da história do SUBA

O [SUBA](#) foi um projeto pedagógico “**Seja Um Bom Aluno**”, que visava integrar e interligar o ensino experimental ministrado nas primeiras disciplinas da Licenciatura em Engenharia Eletrónica, LEE, no polo do IST, no Taguspark. A LEE funcionou no ano de 2003-2004 pela primeira vez. Fui nomeado pelo Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do IST como coordenador do Curso e para proceder à sua instalação no IST Taguspark.

Um ano antes do início da LEE, fui visitar as instalações do IST no Taguspark; fiquei muito agradado com o ambiente mas fiquei muito desagradado com o facto de não haver laboratórios e oficinas que permitissem desenvolver o curso de Engenharia Eletrónica, como eu o tinha pensado. No IST Taguspark, a LERC Licenciatura em Engenharia de Redes e Comunicações) já ia no 2º ano e a LEIC (Engenharia Informática e Computadores) já ia mais avançada. Estas Licenciaturas não precisavam “tanto” dos Laboratórios e Oficinas que eram necessários para a Engenharia Eletrónica como eu a tinha pensado.



Fig. 1- Logo inicial da LEE, baseado no 1º transistor.

Estratégia de Ensino na LEE

A LEE foi desenvolvida no sentido de aproveitar a cooperação máxima das sinergias e competências de ensino e investigação existentes no IST, o que implica um aproveitamento destes recursos, que é diferente do habitual, ao nível do ensino da engenharia e também das ciências básicas.

A minha estratégia de ensino para a LEE assentava nos seguintes pontos e [objetivos](#):

- i)- Formação de base, teórico-prática, muito forte (já tradicional no IST);
- ii)- Criação de novas experiências laboratoriais reais, dotadas de carácter interdisciplinar, envolvendo sistemas eletrónicos avançados, para apoiar o ensino teórico-prático;
- iii)- Organização das novas experiências laboratoriais num único Laboratório Integrado, por semestre, que suporta as várias disciplinas desse semestre e acrescenta conhecimentos novos ao nível das aplicações;
- iv)- Organização de eventos que promovam o desenvolvimento do espírito criativo dos alunos, ou uma formação adicional em novas áreas de conhecimento;
- v)- Trazer para a universidade problemas da indústria e aproveitar a experiência de especialistas desta indústria no ensino de matérias específicas no IST.

O ensino da LEE teria, assim, uma forte componente experimental. Para poder fazer experiências abrangentes, que cobrissem várias disciplinas, criei o projeto SUBA.

O SUBA foi construído sobre um modelo elétrico do automóvel, SUBARU Impreza WRX, que no início dos anos 2000 liderava o campeonato do mundo de ralis. O modelo, na escala 1:10, era produzido pela empresa Matoy's e custava cerca de 125 €.

Comprei um modelo do Subaru Impreza, na escala 1.10, para estudar e modificar os circuitos elétricos, para depois poder replicar as modificações noutros modelos.

Os SUBAs seriam apenas usados pelos alunos da LEE, cerca de 30 a 40 alunos, de modo a eu poder controlar o desenvolvimento do projeto e ter capacidade de dar assistência aos modelos que se fossem deteriorando.

O modelo era originalmente alimentado a pilhas, dotado de telecomando por rádio frequência mas estas funções foram desabilitadas para realizar o projeto [SUBA](#).

Depois de analisar os circuitos elétricos do modelo criei placas eletrónicas de interfaces com estes circuitos de modo a ter só sinais lógicos de controlo. [Ver aqui algumas das modificações efetuadas](#).

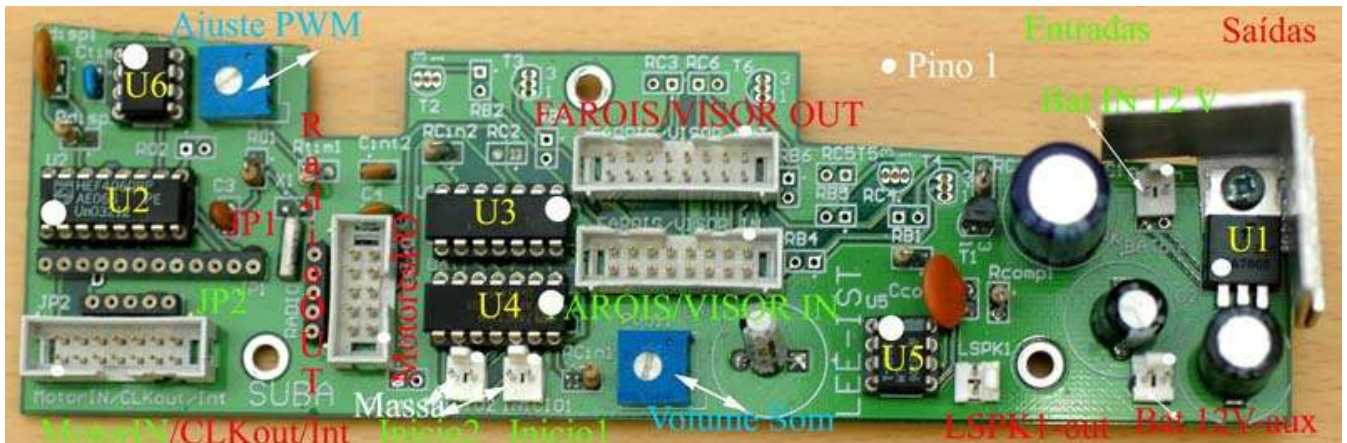


Fig.2 - Uma das placas de interface com os circuitos elétricos dos SUBA modificado.

Um chassis de alumínio foi colocado sobre o miolo do modelo, debaixo da carroceria de plástico. Este chassis tem dimensões que permitiam montar duas placas de montagem de circuitos, do tipo "bread board"¹, normais, com 2 filas de 5 x 64 contactos mais 4 barramentos em linha e, até, uma placa de microprocessador ARM, como se pode ver na Fig. 3.

Os sinais de controlo dos circuitos elétricos originais do modelo foram disponibilizados através do conector 1, Fig. 1, com 16 pinos de ligação elétrica, que ligavam a uma placa de interface elétrica projetada para fazer a interface colocada na zona 3 do modelo com os circuitos elétricos construídos pelos alunos.



Fig. 3 - O chassis de alumínio para suportar os projetos dos alunos.

Sobre ele foram feitos trabalhos em várias disciplinas, materializando o conceito de ensino integrado em engenharia, conceito a que também se juntou a LERC (Licenciatura em Engenharia de Redes de Comunicações), nomeadamente pela mão do Coordenador inicial do Curso, Prof. Rui Rocha.

Fig.4 - O Ensino Integrado (anúncio).

¹ - O uso do termo "bread board" vem do início do século 20, quando os primeiros rádios eram montados em tábuas de cortar o pão. No Museu Faraday do IST pode encontrar um exemplar destes raros rádios do tipo "Bread Board Radio". Posteriormente foram criados rádios do tipo "Bread Box" que eram implementados numa caixa do tipo Caixa do Pão, onde este era guardado.

O SUBA (**S**ejá **U**m **B**om **A**luno) deu origem a várias versões: o Subita (masi pequeno) o Subinha (ainda mais pequeno), o Subão (versão maior, com motor de combustão) e o SUBAH (um protótipo elétrico, autónomo, movido a energia obtida a partir de uma célula de combustível alimentada com hidrogénio).

A ideia do Projeto SUBA

Apresentei o projeto a vários professores que iriam lecionar as disciplinas que os alunos frequentariam mais tarde, também com alunos de outros cursos, de modo a que pudessem facilitar para que a parte prática e de Laboratório dos alunos da LEE fosse diferente da dos outros cursos, baseando-a no SUBA e nos seus diferentes sistemas. Várias disciplinas concordaram com esta ideia. Quero salientar o apoio de vários professores: o Prof. Guilherme Arroz, responsável pela disciplina de Sistemas Digitais, o Prof. Rui Rocha da disciplina de Arquitetura de Computadores e os Profs. Paulo Freitas e António Ferraz da disciplina de Física. O Prof. Guilherme Arroz teve ainda, como Vice-Presidente do IST, um papel fundamental na reestruturação e organização dos cursos da LEE e da LERC.

Os Troféus SUBA

Para estimular a criatividade dos alunos da LEE, o trabalho desenvolvido, ao longo de cada semestre, nas diferentes disciplinas, terminaria com uma competição entre as diferentes equipas (de 2 alunos cada) no chamado Troféu SUBA.

Os troféus eram anunciados através de cartazes que criei para o efeito para publicitar os acontecimentos.

Os SUBAS teriam de fazer todo o trabalho de forma autónoma, dentro de um espaço físico delimitado. O júri do 1º troféu foi constituído pelos Profs. Afonso Barbosa, Carlos Serro e Moisés Piedade.

O Troféu SUBA contava um pouco para a nota da disciplina envolvida e as equipas vencedoras (as três primeiras equipas) recebiam prémios. Ver, por exemplo, os objetivos do primeiro troféu:

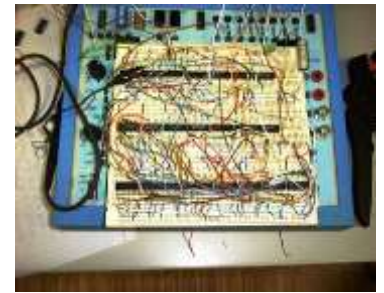


Fig. 5- Ensaio de circuitos para o 1º Troféu.



Fig. 6 - SUBA já preparado para o 1º Troféu.



Fig. 7 - Palco para ensaios do 1º troféu SUBA. As provas seriam realizadas na Cave do edifício.



Fig. 8 - Cartaz do 1º Troféu.

<https://groups.ist.utl.pt/lee/SUBA/trofsuba03-1.htm>.

Para os alunos decorarem os carros criei alguns logos bem como uma camisa SUBA, ver a página da cosmética:

<http://groups.ist.utl.pt/lee/SUBA/cosmetica.html>.

Na disciplina de Sistemas Digitais, do 1º ano da LEE, o troféu consistiu numa prova que deveria cumprir uma série de especificações e consistia em demonstrações realizadas no chão da cave do edifício. A partir de discos velhos dos travões



Fig. 9 - Júri do 1º Troféu SUBA.

de automóveis, em minha casa², criei quatro postes que eram ligados por fitas de tecido e que delimitavam o espaço permitido para os alunos fazerem as demonstrações dos trabalhos sem serem penalizados.

Ao longo do semestre, na disciplina de Circuitos Digitais, os alunos iam desenvolvendo os projetos e ensaiavam os circuitos sobre placas de *breadboard* que depois transpunham para as *breadboard* que eram colocadas sobre o chassis de alumínio do SUBA e eram alimentados pelas baterias do SUBA.

Para os relatórios sucintos dos trabalhos e dos troféus elaborei algumas regras que os alunos da LEE deviam seguir:

<http://groups.ist.utl.pt/lee/relatoriosucinto.pdf>.

As três primeiras equipas vencedoras do troféu foram premiadas numa cerimónia realizada num dos anfiteatros do IST Tagus.



Fig. 10 - Os premiados no 1º Troféu SUBA.

O 3º troféu já foi realizado em cima de uma pista elaborada com várias placas de madeira preta com 4 m x 4 m cada, sobre a qual se desenhou uma linha branca que os carros deveriam seguir autonomamente, controlados pelos sistemas digitais desenvolvidos por cada equipa de dois alunos.

Para este tipo de trabalho criei um sensor diferencial ótico, Fig. 11, (1 e 2 do anto superior esquerdo) que foi implementado numa barra em U de alumínio colocada debaixo da frente dos SUBAS e que permitiam dar informação sobre o afastamento da linha branca do percurso. Existe também um sensor ótico (3) que lê um código de barras identificador do local.

Esta barra viria a ser de importância fundamental no funcionamento do Subódromo de que falarei mais adiante.

Este sistema de direção podia funcionar com uma unidade de controlo de direção (ECU), que desenvolvemos, e que ficou alojada na base do chassis do SUBA, do lado direito.

O Troféu SUBA 03-II

No 2º semestre do primeiro ano da LEE, na disciplina de Arquitetura de Computadores, da responsabilidade do Prof. Rui Rocha, para a LEE, introduzimos o ensino usando um poderoso microprocessador ARM de 32 bit que

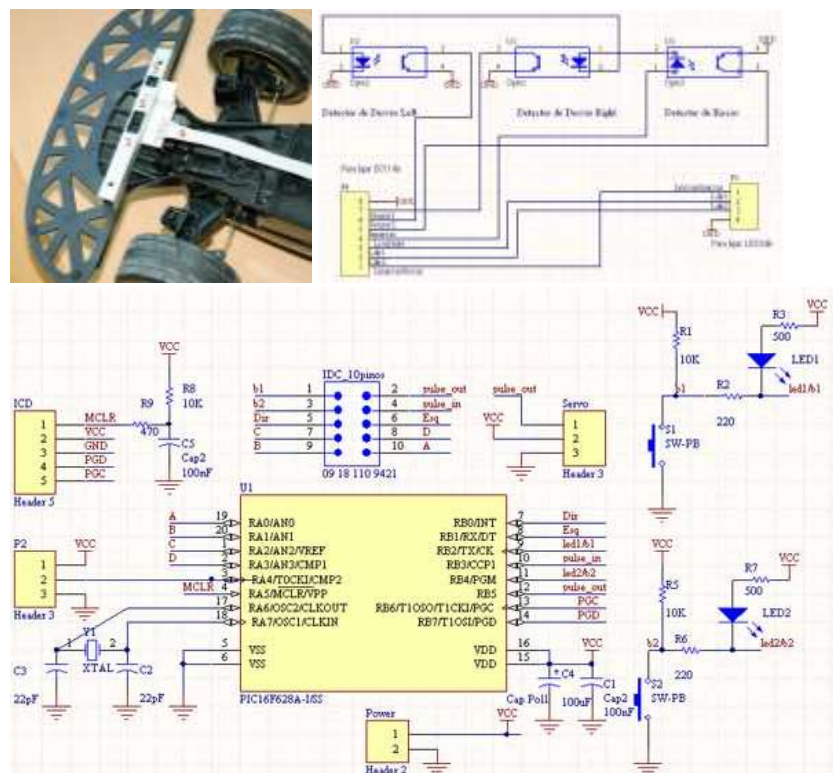


Fig. 11 - Sensor de direção, esquema simplificado e ECU do sensor de direção.

² - No ISTTagus ainda não tínhamos oficinas nem condições para realizar estes trabalhos. Só mais tarde, criei as oficinas e laboratórios, com a ajuda dos projetos de Melhoria de Qualidade de Ensino (MQE). Quero aqui relevar o papel importante de apoio do Presidente do DEEC, Prof. Afonso Barbosa, e do Prof. Eduardo Pereira das MQE do Conselho Diretivo do IST.

realizaria um projeto equivalente ao que tinha sido feito em Sistemas Digitais, no 1º semestre, mas agora com mais funcionalidades adicionadas aos SUBAs como a capacidade de ligar faróis e produzir sons, Fig. 12. Foi dado mais um passo na forte formação dos alunos da LEE.

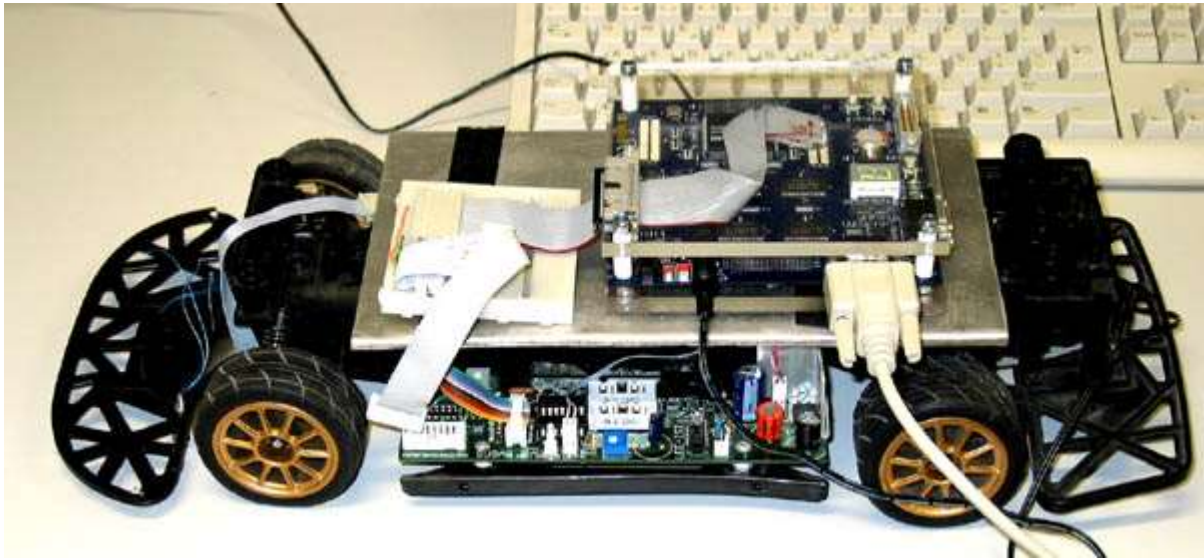


Fig. 12 - O SUBA "ARMado" a ser programado para estar pronto para a competição no Troféu SUBA 03-II.

O Troféu SUBA 05-I

Este troféu foi realizado já no âmbito da disciplina de Sistemas Digitais, do 1º ano 1º semestre da LEE, com uma grande novidade: a introdução de uma ferramenta de excepcional importância na formação dos alunos de engenharia eletrotécnica: os agregados lógicos Programáveis FPGA de "Field Programmable Logic Array". Para este efeito o DEEC comprou vários sistemas de desenvolvimento da FPGA Xilinx 3000 que tinham sido desenvolvidos pela *startup* portuguesa *Coreworks*, liderada pelos Profs. da área de Eletrónica do IST, Fernando Gonçalves e José Sousa, que nos dariam algum suporte técnico. A ferramenta de programação da FPGA Xilinx dispunha de um editor gráfico onde se podiam declarar circuitos lógicos TTL convencionais (contadores, Flip-Flops, portas lógicas, etc.) de modo que os alunos projetavam os seus sistemas do Troféu usando estes componentes virtuais, inseridos num esquema elétrico. A partir deste esquema o projeto era compilado e era gerado o código que programava a FPGA. O ensino teórico da disciplina não foi modificado mas a implementação prática dos projetos atingia uma nova dimensão³ na formação e conhecimento dos alunos.



Fig.13 - Grupo apresenta o trabalho em FPGA para ser inspecionado e permitir a entrada no Troféu.

O SUBA na Física

Na disciplina de Física, 1º ano 1º semestre da LEE, na mecânica, não havia qualquer experiência laboratorial. Propus ao Prof. Paulo Freitas, responsável pela disciplina, a construção de um plano inclinado para estudar transformações de energia mecânica potencial em energia cinética, usando os SUBA. Como ainda não tínhamos criado as oficinas construí esta experiência na minha casa e chamei-lhe "Subódromo". Convidei o Prof Paulo

³ - Alguns alunos, mais atrevidos e preguiçosos, descobriram que para além do uso de circuitos lógicos virtuais, a ferramenta de programação tinha um sintetizador de máquinas de estado, que não era permitido usar no projeto, (bastava declarar as especificações de entradas e saídas e atrasos) para aparecer um projeto implementado na FPGA. Um grupo de alunos gerou um projeto com algumas centenas de estados mas, na discussão, não sabiam explicar como fariam a implementação com circuitos lógicos convencionais, "O crime nem sempre compensa".

Freitas para ver os trabalhos em curso e ele ficou encantado. Começou aqui uma longa relação de cooperação ao nível de investigação, muito profícua, entre o meu grupo do INESC-ID e o grupo do Prof. Paulo Freitas do INESC-MN. <https://groups.ist.utl.pt/lee/SUBA/subodromo>.

O Subódromo, Fig. 14, é basicamente uma rampa de madeira com 2,5 m de comprimento, reforçada com perfis de alumínio, no centro da qual foi incluída uma fita refletora de luz destinada a servir de referência para permitir autoguiar os SUBAS. Nesta rampa foram incluídos 25 sensores óticos (emissor/recetor), distanciados de 10 cm que, por reflexão, detetam a passagem da barra de alumínio, em forma de U do sensor de direção anteriormente referido. Os sensores estão dotados de um foto transístor em “open collector” e os coletores dos 25 transístores são ligados em paralelo “wired AND”.

O sinal recolhido pela passagem do SUBA consiste num trem de 25 impulsos que são fornecidos através de um cabo coaxial a todas as bancadas do Laboratório de Física. Através da medida, feita num PC, da distância temporal entre impulsos pode calcular-se a velocidade e a aceleração do SUBA na descida. Isto permite comparar os resultados experimentais com os resultados de simulação com modelos obtidos a partir das equações do movimento e da conversão de energia potencial em energia cinética.



Fig. 14 - Subódromo: em construção; painel de controlo ; em utilização.

Cada grupo de alunos pode preparar uma experiência carregando o SUBA com massas, e variando a inclinação da pista, mas todos os grupos partilham os resultados obtidos com a experiência desse grupo.

O Subódromo está dotado de uma motorização que permite ajustar o ângulo de inclinação da pista. A experiência mostrou que era necessário usar um sistema de proteção dos SUBAs, Fig. 15, [o S9 - o saco Salva SUBAS](#)⁴. [Pode encontrar masi informação na SUBAlândia](#).

Nos anos seguintes, nas experiências de Física além das medidas experimentais feitas com as descidas dos SUBAs no Subódromo, os alunos da LEE e da LEGI beneficiaram das novas experiências de conversão de energia potencial em energia cinética linear e energia cinética de rotação que lhes permitiram solidificar os seus conhecimentos na Física (parte da Mecânica), através das experiências SUBArolando, <http://www.lip.pt/~abreu/ist/moleegi/>.



Fig. 15 - Sistema S9.

SUBArolando

A experiência SUBArolando foi criada por mim, a pedido dos Profs. António Ferraz e Pedro Abreu da Física, e destina-se a estudar as equações do movimento de cilindros coaxiais deslizando no Subódromo. Pode ver aqui o [plano de trabalho](#) elaborado pelos docentes da disciplina de Física. Depois de medirem todas as massas

⁴ - Comprei o pano e a minha mãe fez o trabalho de costureira.

envolvidas nos rolos e estimando os seus momentos de inércia é possível estabelecer modelos teóricos para as leis de movimento dos rolos na descida do Subódromo. As peças básicas dos cilindros coaxiais estão representadas na Fig. 16. É possível fazer com que apenas o cilindro exterior rode mantendo livres os cilindros interiores (não rodando) ou fixando-os com um dispositivo de aperto. Esta estrutura dá um leque variado de experiências possíveis cuja modelação teórica é feita no computador e pode ser comparada com os resultados experimentais do movimento, saídos do subódromo.

SUBA deslizando

Este ano, em 2022, fiz o SUBA deslizando, a pedido dos docentes da Física, Prof António Ferraz e do Prof António Malaquias. Este dispositivo permite fazer experiências de Física demonstradoras do atrito de deslizamento, realizadas no Subódromo. A plataforma 1, Fig.17, está dotada de 4 pequenas patas, circulares em teflon, nas suas quatro extremidades. Mesmo com inclinações pequenas do Subódromo verifica-se a existência de movimento de deslizamento. O transporte de massas de carga é feito no tubo circular 3, de modo a ser ajustado de forma insensível à inclinação da pista. Na parte de baixo, no centro da plataforma 1, existe uma fita branca que constitui o refletor necessário para que os sensores óticos do Subódromo funcionem.

SUBA solar e INCISTA

Além destas experiências criei a experiência do painel solar e do rendimento de conversão de energia luminosa em elétrica que é usada na parte do eletromagnetismo da Física. Comprei kits de eletromagnetismo, através de verbas do DEEC e do INESC, que também são usados na Física da LEE/MEE. Algumas destas experiências foram incluídas, juntamente com os SUBAS em vários programas do Ciência Viva que acolham jovens de todo o país no Taguspark, ver por exemplo o [INCISTA⁵ 2008](#). O programa INCISTA foi repetido anualmente até 2019. O SUBA era recorrentemente usado para os alunos estudarem programação, usando o sistema Arduino, ver por exemplo <https://www.amrad.pt/incista-2013-foi-avaliado-como-excelente/>, usando os Subinhas quer os robôs circulares adquiridos pelo IST, Fig. 18.

Em 2007, os alunos do INCISTA construíam um módulo eletrónico, Fig. 19, que podia ser incluído no Subinha, a versão mais pequena do SUBA, e cada grupo, no fim do curso, ficava com o carro equipado com o circuito construído pelo grupo. Nesta fase, os alunos acompanhavam todo o processo de fabricação das placas de circuito impresso que eram realizadas na fábrica de PCBs do IST Tagus.



Fig. 16 - SUBA rolos:
1 – Cilindro exterior; 2- cilindro interior; 3 - eixo com massa; 4- rodas dos cilindros; 5- fixadores de rotação; 6 – eixo com massas adicionadas.



Fig. 17- Protótipo para experiência de deslizamento:
1- Placa base; 2- Placa de suporte; 3 - tubo de transporte de carga; 4 - carga.



Fig. 18 - Alunos do INCISTA 2012 usando robô circular e Arduino na pista molde da pista do SUBAH.

⁵ -INCISTA- Introdução à Ciência no ISTagus. Programa proposto pelo INESC-ID, sob minha responsabilidade, e que era lecionado por professores de várias áreas científicas do IST e por colaboradores da [AMRAD](#).

O ensaio dos Subinhas era feito na pista que serviu de molde para fabricar a pista do SUBAH e que foi aproveitada pelo Prof Rui Rocha para as experiências com os SUBAS “ARMados”. No Ciência Viva INCISTA 2013 os alunos também construíram circuitos básicos que eram aplicados aos SUBAS para fazê-los andar autonomamente numa pista simples, Fig. 20.

As oficinas do IST

A construção do Subódromo fez-me pensar que tínhamos de criar oficinas e laboratórios novos e aproveitámos bem o apoio das medidas de melhoria de qualidade do ensino. Aqui, quero destacar o apoio incondicional dos Profs. Guilherme Arroz (CD), Rui Rocha, Eduardo Pereira (CD) e Afonso Barbosa (DEEC e CC). Estas oficinas viriam a ser muito importantes quer na fabricação de objetos mecânicos quer de aparelhos elétricos através da fábrica de circuitos impressos e da futura instalação da [estação de rastreio de satélites](#), que construímos a partir do zero e que viria a ser extremamente útil no desenvolvimento do 1º nano satélite português, o [IST sat-1](#), ver [Podcast](#).

Do SUBA à FST

Os alunos da LEE tinham uma disciplina de desenho baseada na ferramenta “Solid Works” que viria a ser vantajosamente usada por vários alunos em trabalhos de outras disciplinas. O Prof. responsável, Prof. Luís de Sousa, entusiasmou-se com o projeto SUBA e usou-o como motivo para a criação de peças de desenho 3D, no ensino da disciplina. Daqui nasceu uma excelente relação entre mim e o Prof. Luis de Sousa, que me levou a aproximar do Projeto de Formula Student (FST03 - ainda com motor de combustão), em que o Prof. Luis de Sousa já colaborava. Nesse ano lançámos as bases para o primeiro Formula Student elétrico do IST e orientei o aluno Gabriel Rodrigues que desenvolveu a tese de mestrado com o anteprojecto da parte elétrica do FST04, simulado em Matlab e Simulink. O projeto FST04 foi o vencedor da categoria de projeto (Classe 2) na competição em Silvestone (UK). Já na concretização da parte elétrica do FST04 demos particular atenção à criação da bateria com células de Lítio - Ferro - Fosfato e ao sistema de gestão da bateria. O aluno Miguel Guedes desenvolveu um trabalho notável que lhe valeria ser contratado pela equipa de Fórmula I da Mercedes Benz (empresa no Reino Unido “[High Performance Powertrains](#)” onde a Mercedes faz o desenvolvimento dos carros de corrida) e onde o Miguel ainda continua a trabalhar. Depois, eu propus trazer um carro da FST para a entrada do DEEC e outro para o Taguspark para motivar alunos de Eletrotecnia e de Eletrónica para trabalhar nas aplicações destas áreas na engenharia do automóvel. Daqui resultaram muitas teses de mestrado nesta área em colaboração com vários professores do DEEC, algumas delas foram vencedoras do prémio Luis Vidigal. A influência do projeto SUBA acabou também por trazer alguns alunos para a FST.

Combinando alunos de Mecânica e de Eletrotecnia criei vistas guiadas ao DEEC sobre a FST e que foram as que tiveram maior sucesso. As sessões eram feitas no Laboratório Pedro Teixeira, da Área Científica de Eletrónica, preparado para sessões multimédia, onde os alunos das escolas do ensino secundário podiam assistir às explicações dos alunos da FST sobre os diferentes sistemas que estavam a ser desenvolvidos.



Fig. 19 – Cartaz do INCISTA 2007 anunciando a realização dos SUBINHAS que usaram a pista



Fig. 20 – Alunos do INCISTA 2013 usando o SUBA.

Não deixa de ser gratificante como do SUBA inicial chegámos às visitas guiadas, ao envolvimento de alunos do DEEC no projeto FST e às demonstrações da FST realizadas nas inúmeras visitas de alunos de escolas secundárias ao DEEC.

O SUBAH

O SUBAH foi uma ideia que resultou de uma colaboração anterior com a empresa SRS⁶ que me pediu ajuda para fazer um testador, ativador e regenerador de pilhas de combustível. Fiz este testador com a ajuda do Prof. Pedro Ramos, especialista em *LabView*, o que permitiu fazer um desenvolvimento muito rápido do equipamento. Desenvolvi uma interface baseada em cama de agulhas que permitia aceder a cada uma das 24 células da pilha de combustível; usámos, uma carga eletrónica e um módulo de digitalização da *National Instruments*. O *software* foi feito em *Labview*. No ano seguinte lancei uma nova tese de mestrado de que resultou um testador completamente autónomo com todo o *hardware e software* feito no IST.



O projecto SUBAH originou duas teses de mestrado e uma grande quantidade de trabalho meu e do João Pina, técnico de laboratório, sem esquecer o trabalho de vários outros alunos do IST, Fig. 20.



Fig. 20 - O SUBAH

O SUBAH foi totalmente construído no Tagus em chapa acrílica. A pista, em forma de 8, também é em chapa acrílica e foi termicamente moldada sobre uma pista de madeira que serviu de molde. O Prof. Rui Rocha depois aproveitou a pista molde para servir os projetos baseados no SUBA normal em várias disciplinas.

O SUBAH é um modelo a hidrogénio foi feito com células de combustível, fabricadas no IST, com apoio da empresa SRS, alguns materiais. Mais tarde o SUBAH foi dotado de uma célula de combustível comercial, mais potente, pois havia hidrogénio suficiente para o SUBAH dar uma volta completa à pista em forma de oito, Fig. 21.

O SUBAH está em exposição no Museu Faraday e foi solicitado para uma exposição no Museu de Lisboa onde esteve mais de 6 meses ilustrando o futuro do hidrogénio na mobilidade elétrica ([SUBAH esteve em exposição](#)).

O hidrogénio é obtido por um *eletrolizer*, também fabricado no IST, e o enchimento dos dois depósitos de hidrogénio (duas seringas com êmbolo controlado eletronicamente). No modo de abastecimento as seringas chupam o hidrogénio do *eletrolizer* e, depois de estarem cheias, o êmbolo é controlado de modo a que a pressão do hidrogénio dentro das seringas seja de 0,2 bar (a pressão nominal de funcionamento da célula de combustível). A célula de combustível usa também o oxigénio do ar ambiente e o resultado é a libertação de água e energia elétrica que fica disponível para acionar toda a eletrónica do SUBAH. A energia da reação na célula de combustível é transformada em energia elétrica e é suficiente para o SUBAH subir a rampa e, na descida, recuperar alguma energia que armazena em dois ultracondensadores de 350 F. O SUBAH é autónomo pois consegue andar sozinho na pista. Recorre a um sensor de direção baseado na captura de campo magnético provocado por um fio invisível (6, Fig. 22) que está dissimulado no centro da pista. O sensor de direção tem uma gama linear muito ampla que permite desvios acentuados em relação ao fio emissor e, com isto, dar as curvas

⁶ -A empresa já não existe.

apertadas sem se perder. Isto resulta de as rodas traseiras terem cada uma o seu motor, o que permite fazer um diferencial eletrónico, que é atuado de modo à roda exterior da curva andar mais depressa que a roda interior.

A pista em chapa acrílica transparente assenta sobre suportes de varão acrílico, (1), e em tubos de aço inoxidável, (2), suportados por doze sapatas de ardósia⁷ (3), ver Fig. 21.

SUBAH – Fase II

Debaixo de cada sapata de ardósia está prevista a existência de um microcontrolador de 16 bit dotado de interface CAN. Este microcontrolador controla uma pequena placa (roseta) (5) que está no topo inferior de cada varão acrílico transparente. Esta roseta tem um emissor/recetor de raios infravermelhos seguindo a norma de comandos remotos para eletrodomésticos e tem três LEDs RGB de potência que são atuados por 3 transístores. Cada varão acrílico funciona como um meio ótico de transmissão de luz RGB para iluminar a pista transparente e funciona também como meio de transmissão dos raios infravermelhos entre o SUBAH e o emissor / recetor existente na roseta.

A roseta está ligada por um cabo plano ao microcontrolador existente na sapata de ardósia. Todas as sapatas estão ligadas por um cabo plano de 16 condutores⁸ que contém as tensões de alimentação da eletrónica das sapatas e das rosetas; contém, também um barramento CAN de comunicação com um controlador principal, situado junto à estação de serviço (*eletrolyzer*). As 12 sapatas constituem uma rede CAN controlada pelo controlador principal.

Cada roseta transmite informação, que contém o seu código, para o barramento CAN indicando que o SUBAH passou por cima do poste de varão acrílico; esta informação é transmitida ao microcontrolador da estação de serviço que assim fica a saber em que posição se encontra o SUBAH. O controlador principal pode enviar através do barramento CAN mensagem de controlo para cada uma das rosetas através dos microcontroladores existentes nas sapatas. Podem ser criados padrões de iluminação da pista muito criativos, através do programa existente no processador principal.





<http://ce.tagus.ist.utl.pt/SUBA>

Carro:

- Modelo: SUBAH, IST Taguspark
- Carroçaria: Lexan, alumínio, aço e vidro acrílico
- Tracção: Eléctrica (rodas traseiras)
- Direcção: Eléctrica servo com guiamento magnético da pista
- Motores: 3 eléctricos DC - 2 tracção e 1 de direcção
- Energia: Pilha de combustível (SRE/IST)
- Combustível: Hidrogénio
- Depósitos de combustível: H₂ e Oxigénio com sensor de nível
- Geração de Hidrogénio: Por electrólise de água no carro
- Energia de recarga: Eléctrica fornecida pela pista
- Diferencial mecânico: Electrónico com sensores nas rodas
- ECU: "Centralina" baseada em microprocessador e controlo integrado

Pista:

- Materiais: Vidro acrílico, aço inox, ardósia, MDF e fibra de vidro
- Forma: 8 com cruzamento sobrelevado sobre 12 suportes
- Suportes: Varão de vidro acrílico, aço inox e pé em ardósia
- Base: Forma de 8 em MDF com barramento eléctrico CANbus
- Energia: Eléctrica para suportes e fotovoltaica para o SUBAH na estação.
- Suportes, cada um contém:
 - Microprocessador em rede CANbus
 - 3 LEDs de potência (RGB) na base do varão acrílico
 - 3 Controladores PWM e elevadores de tensão dos LEDs
 - 1 LED IV e 1 sensor luz IV para comunicar com o carro

Estação:

- Energia: Eléctrica (rede 220 V) para base da pista e fotovoltaica para SUBAH.
- Controlador: Microp. central ligado em rede com suportes, controla a iluminação da pista com a posição do SUBAH

Agradecimentos:

GRANISINTRA - oferta dos pés em ardósia

SRE - apoio na construção de pilha de H específica



Fig. 21 - O SUBAH.

⁷ - As sapatas de ardósia foram gentilmente cedidas pela empresa [Granisintra](#) onde a minha filha era arquiteta.

⁸ - O cabo plano e as placas de madeira aglomerada (plateg) que o escondem mas não se encontram visíveis na Fig. 22, ver antes a Fig. 21.



Fig. 22 - Vista geral da pista de chapa acrílica do SUBAH.
Ao fundo pode ver-se uma garagem (4) para 12 SUBAs convencionais.

Algumas referências:

Teses:

SUBAH – João Serrano, MSc IST “SUBAH,” 2006.

SUBAH – [Tese de João Graça](#)

SUBAH – [Artigo resumo IST](#)

SUBAH – [Artigo resumo AMRAD](#)

Vídeos:

<https://museufaraday.ist.utl.pt/Experiences/SubaH1red.wmv>

<https://museufaraday.ist.utl.pt/Experiences/SubaHdemo1.mp4>

Adenda

A primeira edição do jornal do N3E <https://issuu.com/n3e-ist/docs/n3emagazine>