

UTILIZAÇÃO DOS SISTEMAS EMBARCADOS SAMD21 E SAMR21 NO ENSINO DE PROJETO DE SISTEMAS EMBARCADOS EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO NO ANO DE 2017

Resumo: O projeto e a utilização de sistemas de hardware dedicados, também chamados sistemas embarcados, é uma das habilitações adquiridas dos cursos de Engenharia de Computação no Brasil de maneira geral. Na maioria deles, as aulas são dadas usando metodologias que tratam das tecnologias de maneira apenas expositiva, não proporcionando aos alunos experiência em problemas que existem na indústria. Tendo isso em mente, este projeto pretende demonstrar a utilização da metodologia baseada em projeto com os kits de desenvolvimento SAMD21 e SAMR21, ambos da Microchip Technologies, no ensino de projeto de sistemas embarcados no curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) no ano de 2017. O objetivo é descrever o processo de assimilação e aprendizado do software e do hardware por parte dos alunos, bem como os resultados obtidos através dos diferentes projetos elaborados.

Palavras-chave: Sistemas embarcados. Metodologia de Ensino. Aprendizagem baseada em projeto. Engenharia de Computação.

1 INTRODUÇÃO

Uma das maiores dificuldades no Ensino de Engenharia é o fato de ser uma área volátil. A chance de um engenheiro, quando formado, trabalhar com ferramentas e métodos que eram desconhecidos ou ainda pouco difundidos quando ele estava na graduação é significativa. No campo da Computação, por exemplo, sistemas embarcados voltados a IoT (Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things*), é considerada o paradigma de desenvolvimento de projetos, movimentando milhares de dólares em pesquisas, produtos e *startups* [Dornelas & Oliveira, 2017]. No ano de 2017, a IoT aparecia no topo da curva de expectativas no gráfico de *hype* do Gartner (*Hype Circle for Emerging Technologies*) [Panetta, 2017].

Sistemas embarcados são um segmento da eletrônica e da computação interessante e importante de se estudar. Devido a demanda, os cursos de Engenharia Eletrônica e Engenharia de Computação têm seus currículos voltados para estudos e projetos nessa área. No entanto, as disciplinas dedicadas a essa área muitas vezes tem caráter meramente expositivo ao aluno, com pouca experiência que o capacite para a demanda da indústria [Alves & Benitti, 2006].

O objetivo desse projeto é descrever o uso de sistemas embarcados no ensino de Engenharia de Computação através da elaboração de projetos no primeiro semestre de 2017. Foram escolhidos para trabalho dois kits de desenvolvimento, o SAMD21 *Xplained Pro Evaluation Kit*® e o SAMR21 *Xplained Pro Evaluation Kit*®, ambos de propriedade da empresa Microchip Technologies. Os projetos foram feitos utilizando a linguagem C, que é utilizada pela maioria dos sistemas embarcados. Foram observados principalmente o processo de assimilação e aprendizado do software e do hardware por parte dos alunos, bem como os resultados obtidos através dos diferentes projetos elaborados.

2 ANÁLISE DE TURMA E DISCIPLINA

O estudo foi realizado na turma do sexto semestre do curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal de Santa Maria, entre os meses de março e julho de 2017. A disciplina contou com 28 alunos, sendo 23 do curso de Engenharia de Computação e 5 do curso de Engenharia Elétrica. Dos 23 alunos, 15 pertenciam de fato ao sexto semestre, enquanto os demais estavam alguns semestres adiante e quatro estavam adiantando a disciplina. O sexto semestre é quando a disciplina de Projeto de Sistemas Embarcados (ELC1048) é ministrada de acordo com o painel de disciplinas do curso [UFSM, 2017].

No entanto, os alunos do curso adquirem conhecimentos voltados para hardware em semestres anteriores. Há o ensino de descrição de *hardware* em VHDL na disciplina de Projeto de Sistemas Digitais (ELC1033), do terceiro semestre, e de programação em Arranjo de Portas Programáveis em Campo (FPGA, do inglês *Field Programmable Gate Array*) na disciplina de Sistemas Lógicos Programáveis (ELC1042), do quinto. Adiante no curso, há o ensino de projeto de circuitos integrados, sistemas digitais integrados e processadores [UFSM, 2017].

O objetivo da disciplina, de um modo geral, é atualizar os conhecimentos sobre o estado da arte em técnicas de análise e projeto. Isso envolve adquirir conhecimentos em sistemas lógicos avançados baseados em lógica programável embarcada, como redes industriais, aplicações em tempo real, processamento multitarefas, conexão à internet, redes de comunicação sem fio, por parte do aluno [Barriquello, 2017].

A disciplina exige conhecimento prévio de programação em linguagem C, C++ e *assembly*. Também exige conhecimento de modelagem, teoria de controle, análise de sistemas, engenharia e otimização de *software*. No entanto, o curso de Engenharia de Computação da UFSM não faz uso de pré-requisitos para matrículas em disciplinas.

3 ANÁLISE DE HARDWARE E SOFTWARE

A seguir, será feita uma breve análise do *hardware* e da metodologia de *software* utilizados durante a disciplina.

3.1 Hardware

Os sistemas embarcados SAMD21 e SAMR21 foi originalmente fabricado pela empresa Atmel®, hoje chamada Microchip Technologies, no ano de 2014. Utilizando os microcontroladores ATSAMD21J18A e ATSAMR21G18A, suas organizações permitem não apenas o acoplamento de vários periféricos, como também agiliza o entendimento de suas funções por parte do aluno [Microchip Technologies, 2016].

Dentre os periféricos possíveis para o SAMD21, estão canais para processamento de áudio, processamento gráfico, criptografia, PWM (modulação por largura de pulso, do inglês *Pulse Width Modulation*) de alta resolução e comunicação via protocolo *Bluetooth Low Energy* (BLE) [Microchip Technologies, 2016]. Dentre as aplicações possíveis para o SAMR21, estão comunicação em rede 6LoWPan, Wi-Fi e Ethernet, sensores de luz e temperatura e gerenciamento de energia. Para armazenamento de dados, os dois embarcados utilizam uma memória do tipo EEPROM, usada para armazenar certas quantidades de dados que devem ser salvos quando a energia é cortada [Arduino, 2018].

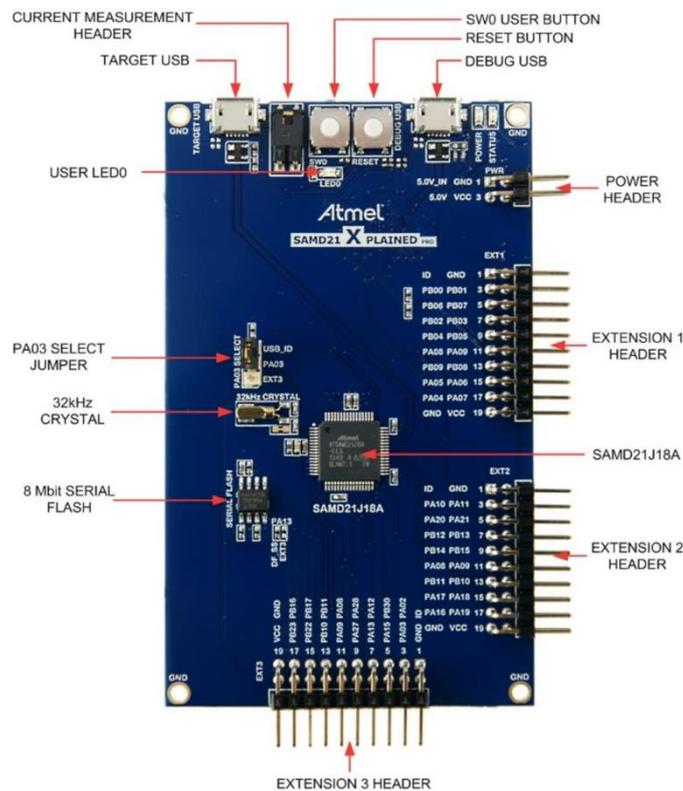
Nesta disciplina, foi utilizada uma versão dos embarcados SAMD21 e SAMR21 chamada *Xplained Pro*, uma versão de avaliação doada pela própria empresa à Universidade Federal de

Santa Maria para uso na disciplina. Mesmo sendo uma versão de avaliação simples, o *Xplained Pro* possibilita uma considerável experiência de uso do embarcado. Essa versão avaliativa é utilizada por diversos outros sistemas embarcados fabricados pela empresa *Microchip* [Microchip Technologies, 2016].

Nos casos do SAMD21 e SAMR21, essa versão suporta uma ampla gama de placas de extensão, que podem ser conectadas ao sistema embarcado por um conjunto de conectores e cabeçalhos padronizados. Ela também permite a instalação de drivers para uso em comunicação serial entre o embarcado e computadores, com suporte à transmissão de dados entre duas ou mais placas. O *Xplained Pro* também disponibiliza exemplos de código que fazem uso das suas funcionalidades, compilados através do ambiente de programação *Atmel Studio*, e executados no embarcado.

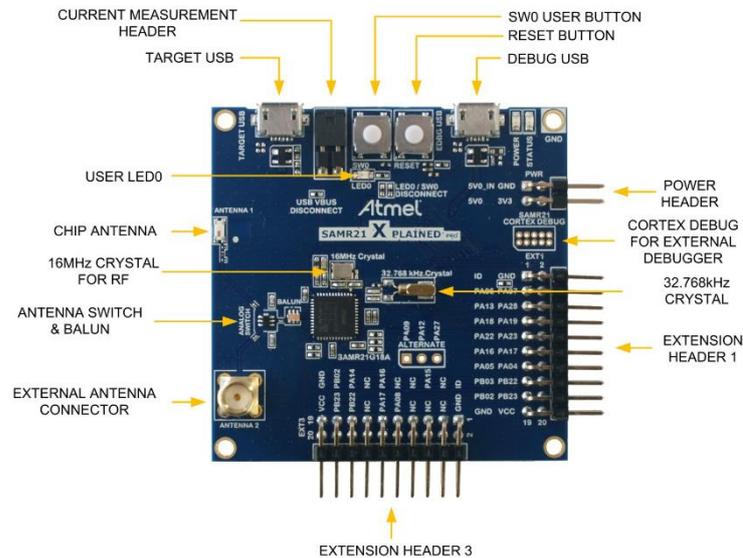
As figuras 1 e 2 mostram uma visão de topo dos embarcados SAMD21 e SAMR21, respectivamente.

Figura 1 – Sistema Embarcado SAMD21, versão *Xplained Pro*.



Fonte: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42220-SAMD21-Xplained-Pro_User-Guide.pdf

Figura 2 – Sistema Embarcado SAMR21, versão *Xplained Pro*.



Fonte: https://www.mouser.com/ds/2/268/Atmel_4224-3-samr21-xplained-pro_user-guide-1180439.pdf

3.2 Metodologia de Software

Foram propostas aos alunos duas metodologias de projeto de software: Máquina de Estados Finitos (FSM, do inglês *Finite State Machine*) e *protothreads*.

Uma FSM se baseia em direcionar o funcionamento de um *software* em um número finito de estados, sendo cada um desses estados uma situação relevante do sistema. É possível avançar, recuar ou permanecer em um estado, e o mecanismo deste fluxo da máquina de estado é definido pelo desenvolvedor e sua complexidade depende da complexidade do sistema desenvolvido. Ou seja, utilizar uma FSM é direcionar o funcionamento de um *software*, fazendo com que uma ordem de execução seja obedecida. Vale ressaltar que somente um estado é executado por vez [Bertoleti, 2015].

Protothreads são encadeamentos (*threads*) sem empilhamento, projetados para sistemas com memória restrita, como pequenos sistemas embarcados ou nós de redes de sensores sem fio. Elas fornecem execução linear de código para sistemas orientados a eventos implementados em C, e podem ser utilizados com ou sem um sistema operacional subjacente que disponha de tratamento de interrupções (*callbacks*). *Protothreads* fornecem fluxo sequencial de controle sem máquinas de estado complexas ou *multi-threading* completo [Dunkels, 2005].

A metodologia de desenvolvimento utilizada foi a de Desenvolvimento Orientado a Testes (TDD, do inglês *Test Driven Development*). Cada nova funcionalidade inicia com a criação de um teste, que deve falhar porque é escrito antes da funcionalidade a ser implementada. Para escrever um teste, o desenvolvedor precisa claramente entender as especificações e requisitos da funcionalidade. A TDD torna o desenvolvedor focado nos requisitos antes do código, o que é uma sutil, mas importante diferença [Aniche, 2014].

4 PRÁTICA DE PROJETOS

Nesta seção serão mostrados os projetos desenvolvidos na disciplina e seus resultados.

4.1 Definição de projetos

A turma foi dividida em grupos de 2 ou 3 alunos. Cada grupo deveria elaborar um projeto de *hardware* e *software* em um dos dois embarcados disponibilizados nas aulas. Cada projeto deveria ter, no mínimo, entrada de dados, armazenamento de dados e saída de dados via comunicação, de alguma forma. Para o desenvolvimento dos projetos, foram disponibilizados alguns periféricos compatíveis com os kits SAMD21 e SAMR21, vistos na tabela 1.

Tabela 1 – Periféricos disponíveis para elaboração dos projetos.

Periférico	Quantidade	Entrada de Dados	Saída de Dados	Armazenamento
Ethernet	5	Sim	Sim	Não
LCD + teclado	5	Sim	Sim	Não
Memória EEPROM	5	Sim	Não	Sim
Bluetooth	5	Sim	Sim	Não
IMU/Led RGB/Acelerômetro	5	Sim	Sim	Não
RS485/	2	Sim	Sim	Não
UART	11	Sim	Sim	Não
Memória Flash	11	Não	Não	Sim
USB host+device	11	Sim	Sim	Não
IEEE 802.15.4/RF	6	Sim	Sim	Não

Fonte: <https://ead06.proj.ufsm.br/moodle/mod/resource/view.php?id=372682>

Cada projeto deveria ter, além dos requisitos mínimos citados acima, seu código-fonte estruturado em uma das duas metodologias estudadas no decorrer da disciplina, definidas por sorteio. A tabela 2 mostra os projetos escolhidos pelos alunos, os periféricos utilizados e a metodologia de *software* definida para cada um deles.

Tabela 2 – Relação de projetos desenvolvidos na disciplina

Projeto	Embarcado	Entrada	Saída	Armazenamento	Metodologia
Luxímetro	SAMD21	Sensor LDR/UART	Led	Memória Flash	FSM
Rastreador de sinais Bluetooth	SAMD21	Bluetooth	Bluetooth	Memória Flash	Protothreads
Medidor de Temperatura	SAMR21	Sensor LM35	Display OLED	Memória Flash	FSM
Controlador de Temperatura	SAMD21	Sensor de Temperatura	Display OLED	Memória Flash	FSM
Balança c/ Bluetooth	SAMD21	Célula de carga	Bluetooth	Memória Flash	Protothreads
Jogo RGB	SAMR21	Bluetooth	Led RGB	Memória Flash	FSM
Monitor de Temperatura	SAMD21	Sensor de Temperatura	Display OLED	Memória EEPROM	FSM
Desempenho Veicular	SAMD21	Sensor RTC	UART	Memória Flash	Protothreads

Fonte: <https://ead06.proj.ufsm.br/moodle/mod/resource/view.php?id=372682>

4.2 Desenvolvimento e resultados

No plano de trabalho inicial, os projetos deveriam estar prontos e funcionais até o dia 15 de maio. No entanto, o prazo foi estendido para meados de junho. Isso se deve principalmente às dificuldades que foram encontradas pelos alunos ao decorrer da disciplina.

A maior dificuldade sentida durante a elaboração do projeto foi a escassa documentação sobre os embarcados SAMD21 e SAMR21 disponível na Internet. Praticamente não havia – e ainda não há – exemplos de projetos e documentações além das fornecidas próprio fabricante. Portanto, os alunos puderam vivenciar uma experiência próxima à realidade dos profissionais que atuam no setor.

Esse fato acarretou um atraso considerável no cronograma. Devido à pouca documentação, conforme comentado pelos próprios alunos, eles perceberam dificuldades com o conteúdo inicial da disciplina, que trata sobre programação de sistemas embarcados. Essa fase, em tese, levaria uma aula, no máximo duas. Entre os meses de março e abril, pouco ou nenhum avanço foi feito.

Provavelmente por essas e outras dificuldades, muitos dos projetos escolhidos foram baseados em exemplos do próprio ambiente de programação *Atmel Studio*. Mas apesar dele possuir uma gama de exemplos e possibilidades de uso dos embarcados, os alunos informaram não ter conseguido compilar e gravar os exemplos com sucesso, o que pode ter restringido as escolhas de projetos a serem desenvolvidos.

Ainda assim, os grupos conseguiram entregar pelo menos parte do projeto inicial, com as aplicações exigidas, sem ser apenas replicação de algum exemplo. A tabela 3 mostra a relação dos trabalhos e seus respectivos desempenhos. Apenas alguns tiveram dificuldades na inserção de memória e escrita de código sem aplicação da metodologia de *software* exigida.

Tabela 3 – Resultado dos projetos desenvolvidos na disciplina

Projeto	E/S funcionou ?	Armazenamento foi utilizado?	A Metodologia proposta foi aplicada?	O código funcionou adequadamente?	Nota Final
Luxímetro	Sim	Sim	Sim	Sim	10,0
Rastreador de sinais Bluetooth	Sim	Sim	Sim	Sim	10,0
Medidor de Temperatura	Sim	Sim	Sim	Sim	10,0
Controlador de Temperatura	Sim	Sim	Sim	Sim	10,0
Balança c/ Bluetooth	Sim	Não	Sim	Sim	8,0
Jogo RGB	Sim	Sim	Sim	Sim	10,0
Monitor de Temperatura	Sim	Não	Não	Sim	7,0
Desempenho Veicular	Sim	Não	Não	Sim	7,0

Fonte: https://ead06.proj.ufsm.br/moodle/pluginfile.php/771314/mod_resource/content/0/nota_1.pdf

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, o resultado foi satisfatório. O programa da disciplina foi, apesar dos atrasos citados, cumprido dentro do prazo regulamentar da disciplina. Os alunos do curso puderam ter um contato com os kits de desenvolvimento e exercer a prática de programação em sistemas embarcados com eles.

Como relatado anteriormente, os alunos apontaram como o maior entrave para o aprendizado de sistemas embarcados utilizando o SAMD21 e o SAMR21 a pouca documentação disponível, o que, segundo eles, limitou a possibilidade de projetos a fazer. Por outro lado, estas dificuldades são esperadas no dia a dia dos profissionais que trabalham com projetos de sistemas embarcados. Portanto, isto aproxima a experiência vivida pelos alunos com a realidade de trabalho daqueles profissionais.

Em conclusão, uma metodologia de ensino baseada no desenvolvimento de projetos que proporcionem uma experiência semelhante a encontrada na indústria é algo coerente e possível no ensino de Engenharia, pois, dos 28 alunos matriculados, 21 entregaram projetos funcionais e aprovados na disciplina, enquanto os 7 que não entregaram o fizeram por desistir da disciplina. Este projeto, então, serve de estímulo para que outras universidades e centros de pesquisa utilizem o desenvolvimento de projetos com os *kits* SAMR21 e o SAMD21, bem como outros *kits* de desenvolvimento, para o ensino de programação em sistemas embarcados.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica (NUPEDEE) da UFSM.

REFERÊNCIAS

ANICHE, M. **Test-Driven Development**. Disponível em: <http://tdd.caelum.com.br/>. Acesso em: 15 mar. 2017.

ARDUINO. **EEPROM Library**. Disponível em <https://www.arduino.cc/en/Reference/EEPROM/>. Acesso em: 03 Abr. 2017.

BARRIQUELLO, C. H. **ELC1048 - Projeto De Sistemas Embarcados**. Disponível em: https://ead06.proj.ufsm.br/moodle/pluginfile.php/620218/mod_resource/content/0/AULA_1.pdf. Acesso em: 09 mar. 2017.

BERTOLETI, P. **Máquina de Estado**. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/maquina-de-estado/>. Acesso em: 15 abr. 2017.

DORNELAS, E.; OLIVEIRA, S. C. Monitoramento de Consumo Doméstico de Água Utilizando uma Meta-Plataforma de IoT. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Recife, v.2, n.2, p. 138-139, 2017.

DUNKELS, A. **Protothreads**. Disponível em: <http://dunkels.com/adam/pt/>. Acesso em: 18 abr. 2017.

MICROCHIP TECHNOLOGIES. **SAM D21 Xplained Pro – User Guide.** Disponível em: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42220-SAMD21-Xplained-Pro_User-Guide.pdf. Acesso em: 15 mar. 2017.

MICROCHIP TECHNOLOGIES. **SAM R21 Xplained Pro – User Guide.** Disponível em: <https://www.mouser.com/pdfdocs/atsamr21sprouserguide.PDF>. Acesso em: 15 mar. 2017.

PANETTA, K. **Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017.** Disponível em: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>. Acesso em: 13 mar. 2018.

UFSM. **Grade de Disciplinas para Engenharia de Computação.** Disponível em: http://w3.ufsm.br/ecompe/images/pdf/Grade-Vigente_EC.pdf. Acesso em: 25 abr. 2017.

Organização:



Realização:

