



Impacto do uso do Arduino sobre a motivação estudantil: Resultados de uma intervenção didático-pedagógica no ensino da Física.

Diogo Chitolina, PPGET/CFM/UFSC, diogo.chitolina@ifsc.edu.br,
<https://orcid.org/0000-0003-2253-4313>

Paulo José Sena dos Santos, PPGET/CFM/UFSC, paulo.sena@ufsc.br,
<https://orcid.org/0000-0002-8487-1369>

Resumo

Com o propósito de avaliar o potencial motivacional da plataforma Arduino no contexto do ensino de física, uma intervenção didático-pedagógica (IDP) foi elaborada, adotando os princípios da teoria da autodeterminação, para abordar o tema da “conservação da energia mecânica”. Este estudo pretende analisar os impactos que o emprego do Arduino pode exercer sobre a melhoria na qualidade motivacional e na percepção de satisfação das necessidades psicológicas básicas (NPB) de um grupo de estudantes de ensino médio que realizaram as atividades da IDP. A análise dos dados coletados indica a existência de diferenças estatísticas tanto para o estado motivacional, quanto para o suporte às NPB, antes e depois da aplicação piloto. Destaca-se nesta análise o aumento da motivação intrínseca estudantil. Os resultados obtidos sugerem que a introdução da plataforma Arduino em atividades prático-experimentais no ensino de temas da física pode exercer influências positivas sobre a motivação estudantil.

Palavras-chave: Arduino, Ensino de Física, Motivação, Teoria da Autodeterminação, Necessidades Psicológicas Básicas

Impact of Arduino use on student motivation: Results of a didactic-pedagogical intervention in physics teaching.

Abstract

With the purpose of evaluating the motivational potential of the Arduino platform in the context of physics teaching, a didactic-pedagogic intervention (DPI) was designed, adopting the principles of Self-determination Theory, to approach the topic of “conservation of mechanical energy”. This study aims to analyze the impacts that the use of Arduino can have on improving the motivational quality and the perception of satisfaction of basic psychological needs (BPN) within a group of high school students who accomplish the DPI activities. The analysis of the collected data indicates the existence of statistical differences both for motivational state and support for the BPN, before and after the pilot application. The increase in student intrinsic motivation is highlighted in this analysis. The results suggest that the introduction of the Arduino platform in practical-experimental activities in teaching physics topics may have positive influences on student motivation.

Keywords: Arduino, Physics Teaching, Motivation, Self-determination Theory, Basic Psychological Needs.



1. Introdução

A demanda por melhoria na qualidade motivacional dos estudantes, tanto em relação à aprendizagem de temas científicos, quanto ao engajamento nas tarefas escolares, constitui um dos grandes desafios enfrentados pelo ensino de ciências na contemporaneidade. A implementação de metodologias ativas e interdisciplinares, combinada à incorporação de recursos tecnológicos, emerge como uma estratégia para o aperfeiçoamento do processo de ensino e aprendizagem de temas da física. Nesse contexto, a plataforma Arduino desponta como uma ferramenta promissora para a elaboração de propostas pedagógicas voltadas também para a melhoria da qualidade motivacional estudantil.

Ao longo da última década, a plataforma Arduino vêm se apresentando como uma ferramenta com potencial para promover a observação, demonstração e realização de atividades prático-experimentais no âmbito do ensino de física. Por ser uma plataforma de desenvolvimento e prototipagem eletrônica, o Arduino se destaca por sua versatilidade e acessibilidade, possibilitando a implementação da computação física enquanto oculta grande parte da complexidade inerente a programação de microcontroladores. Essa característica permite integrar o computador a uma série de dispositivos eletrônicos, como sensores e atuadores, tornando-o um instrumento de interesse para a abordagem de temas da física por meio de atividades prático-experimentais (Moreira *et al.*, 2018). Embora o número de propostas para emprego do Arduino no ensino de física tenha aumentado ao longo dos últimos anos (Souza Junior *et al.*, 2020; Almeida, 2021; Santos; Vargas, 2023), percebe-se a necessidade de aprofundar as investigações a respeito de sua aplicação em ambientes educacionais, sobretudo na avaliação da promoção da motivação estudantil (Guven *et al.*, 2020).

Com o intuito de investigar os efeitos do emprego do Arduino na qualidade motivacional e no suporte às NPB de estudantes de Ensino Médio durante aulas presenciais de física, foi elaborada e implementada uma IDP que emprega a plataforma em atividades prático-experimentais associadas à exploração do princípio da conservação da energia mecânica. Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo abordar a seguinte questão: **“Qual o impacto da aplicação didática do Arduino, no contexto do ensino da física, na percepção de suporte às NPB e na qualidade motivacional dos estudantes?”**. Este trabalho visa apresentar resultados quantitativos relativos à implementação da IDP na sua versão piloto.

2. Motivação e as necessidades psicológicas básicas

No contexto dos estudos motivacionais, o fenômeno “motivação humana” pode ser concebido como a análise dos mecanismos que energizam e direcionam o comportamento (Deci; Ryan, 2017). Sua origem é complexa, sendo o resultado da interação entre fatores internos ao *self* e contingências ambientais externas (Reeve, 2011). Para tanto, a Teoria da Autodeterminação (TAD) oferece subsídios que permitem avaliar a motivação em diversos âmbitos da existência humana, inclusive no contexto do ensino da física. Dentre os principais pressupostos da TAD, destaca-se a premissa de que a melhora na qualidade motivacional está atrelada à satisfação das NPB de autonomia, competência e pertencimento.

De acordo com Ryan e Deci (2017), a teoria da autodeterminação pressupõe que a motivação pode variar em tipo e em intensidade. Neste contexto, os autores propõem a existência de três tipos de motivação: 1) Falta de motivação, 2) Motivação intrínseca e 3) Motivação extrínseca. A diferenciação entre os estados de motivação e desmotivação é demarcada pela intencionalidade, consciente ou inconsciente, do comportamento ou ação



apresentado pelo indivíduo. Na TAD, a motivação do tipo intrínseca, na qual o comportamento motivado é inerentemente interessante e agradável, representa o nível mais elevado de motivação autônoma. Por outro lado, a desmotivação é teoricamente descrita como um estado de não intencionalidade, resultante da percepção de incapacidade de alcançar um resultado desejado, bem como da ausência de interesse ou utilidade associados a um determinado comportamento ou ação.

Entre esses extremos, numa espécie de eixo horizontal, a TAD prevê um *continuum* de regulação do comportamento no qual a motivação do tipo extrínseca pode ser classificada através de quatro subtipos ou estilos autorregulatórios, de acordo com o grau de percepção (interna ou externa) da fonte causal do comportamento (Reeve, 2011). Os subtipos de motivação extrínseca são: Externa, Introjetada, Identificada e Integrada. Neste *continuum* de autodeterminação, é através dos processos de internalização e integração que a TAD diferencia os subtipos de motivação extrínseca. A internalização refere-se ao processo no qual o indivíduo carrega para dentro de si os valores, crenças e regulações comportamentais oriundas de fontes externas ao *self*, e a integração refere-se a transformação destas regulações externas em internas. A medida em que o grau de internalização e integração aumenta, a motivação extrínseca tende a tornar-se mais autônoma. Por outro lado, os tipos mais controlados de motivação extrínseca são marcados por níveis mais baixos de integração e internalização.

A TAD também postula que a motivação autônoma em um indivíduo é facilitada quando o ambiente proporciona suporte para a satisfação das três NPB de autonomia, competência e pertencimento. Segundo Ryan e Deci (2017), na perspectiva desta teoria, a autonomia é entendida como a necessidade do indivíduo de fazer escolhas que reflitam seus próprios desejos e que não sejam determinadas por influências externas. A necessidade de competência refere-se ao sentimento de eficácia do indivíduo ao interagir com o ambiente social, experimentando oportunidades e suportes para exercitar, expandir e expressar suas capacidades e talentos. Por fim, a necessidade de pertencimento é caracterizada pela busca de conexão e aceitação social durante as interações interpessoais, refletindo a necessidade inata do indivíduo de sentir-se correspondido, respeitado e importante para os outros.

Conforme destacado por Ryan e Deci (2017), quando contextos, inclusive o escolar, oferecem suporte as NPB, os processos regulatórios de internalização e integração são facilitados, promovendo a melhoria da qualidade motivacional. Isso implica no incentivo e manutenção da motivação intrínseca e das formas mais autônomas de motivação extrínseca, bem como na melhora do engajamento, vitalidade e bem-estar, fatores determinantes para o êxito escolar.

3. Procedimentos Metodológicos

Visando a inserção do Arduino como ferramenta didática nas aulas de Física, foi elaborada uma IDP composta por dez aulas, cada uma com duração de 110 minutos, realizadas semanalmente na modalidade presencial. A organização da IDP foi conduzida através de um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), através do qual os estudantes participantes tiveram acesso aos materiais didáticos e as atividades propostas. Em sua totalidade, as atividades foram desenvolvidas em laboratório de informática escolar, em virtude das necessidades intrínsecas ao uso do Arduino.

A turma selecionada para aplicação do estudo piloto é composta por 29 estudantes regularmente matriculados no segundo ano de um curso Técnico Integrado ao Ensino Médio de uma instituição federal de ensino, localizada em região de fronteira no estado de Santa Catarina. A amostra deste estudo é composta por 23 estudantes que assentiram em participar da pesquisa através da assinatura do termo de assentimento livre e



esclarecido, ou, quando menores de dezoito anos, tiveram consentimento dos pais ou responsáveis legais através da assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido. A média de idade dos respondentes é de $16,8 \pm 0,6$ anos. O período de aplicação da versão piloto da IDP compreende de outubro a dezembro de 2023.

As atividades propostas ao longo da IDP foram elaboradas com o intuito de proporcionar aos participantes um ambiente de aprendizagem que ofereça suporte às suas NPB. Para tanto, as atividades propostas foram apresentadas no formato de desafios para solução coletiva em equipes, buscando aliviar restrições do currículo tradicional, suprimir as pressões das avaliações formais, fornecer estrutura para o desenvolvimento das atividades propostas e estabelecer meios para melhoria da qualidade motivacional. A organização geral das atividades pode ser dividida em quatro fases conforme apresentado no quadro 1.

Quadro 1 – Organização geral das atividades presentes na IDP.

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Duração	110 min	440 min	330 min	220 min
Temática	Organização Inicial	Energia luminosa e sonora	Conservação da Energia Mecânica	Produção em equipe e socialização final
Uso do Arduino	Demonstração lúdica	Introdução à plataforma e a linguagem de programação	Ferramenta de aquisição de dados experimentais	Ferramenta de apoio
Principais elementos	Formação das equipes; Apresentação inicial das tarefas	Prototipagem de circuitos simples; Programação do Arduino via Ardublock.	Adequação do arranjo experimental (sistema massa-mola); Coleta e organização de dados experimentais; Plotagem gráfica	Elaboração da atividade final e apresentação para o grande grupo.

Cabe destacar que as atividades presentes na IDP foram planejadas para colaborar com o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao uso do Arduino e, através dessa ferramenta, apresentar uma nova forma de analisar e representar o princípio da conservação da energia mecânica no contexto da física. Com o avançar das atividades, os estudantes tiveram a oportunidade de reunir elementos teóricos, experimentais, imagéticos (imagens, gráficos, vídeos), entre outros, capazes de representar o princípio físico de forma particular para cada equipe. Esses elementos constituíram o foco de aprendizagem, além de terem colaborado para a elaboração de um “relatório final” previsto desde a primeira aula, na qual as equipes contaram com liberdade de escolha para seu formato e sua apresentação coletiva. Neste trabalho a ênfase será na análise quantitativa dos dados coletados.

Para a coleta de dados quantitativos, foram empregados dois instrumentos. O primeiro consiste na Escala de Motivação: Atividades Didáticas de Física (EMADF), descrita por Clement (2013). A EMADF é composta por 50 itens precedidos da pergunta: “*Por que eu faço as atividades nas aulas de física?*”, onde cada afirmativa é acompanhada de uma escala Likert com variação de cinco pontos entre as opções “nada verdadeiro” e “totalmente verdadeiro” para que o participante indique seu grau de concordância. O levantamento das propriedades psicométricas da EMADF permite avaliar a qualidade motivacional dos estudantes de acordo com os seguintes fatores (tipos de motivação): a) Motivação Intrínseca; b) Regulação externa por recompensas sociais; c) Desmotivação; d) Regulação externa por regras e punições; e) Regulação introjetada; e f) Regulação identificada. Sua aplicação, através de questionário virtual, foi efetuada na primeira e última aula da IDP com o intuito de comparar o estado motivacional dos estudantes antes e depois da intervenção. Os dados referentes a cada fator foram agrupados através do



cálculo da média para cada participante visando posterior análises estatísticas descritivas e de inferência através do teste de Wilcoxon para amostras pareadas.

O segundo instrumento de coleta de dados quantitativos consiste na Escala de Medida das Necessidades Psicológicas Básicas (EMNPB), elaborada por Clement, Carminatti e Freira (2020). Esta escala permite realizar o levantamento de dados sobre a satisfação das necessidades psicológicas dos estudantes em atividades didático-pedagógicas no âmbito da disciplina de física. A EMNPB é composta por 26 itens acompanhados de escala Likert de 5 pontos variáveis entre as opções “nada verdadeiro” e “totalmente verdadeiro”, precedidos por uma afirmativa principal: “*Nas atividades que desenvolvo nas aulas de Física...*”. De acordo com os preceitos da TAD e o levantamento das propriedades psicométricas da EMNPB através de análise fatorial, os 26 itens da escala foram agrupados em 3 fatores: a) Competência; b) Pertencimento; e c) Autonomia. O questionário virtual da EMNPB foi aplicado 9 vezes ao longo da IDP, no final de cada encontro. Os dados referentes a cada fator foram agrupados através do cálculo da média para cada participante visando posteriores análises estatísticas descritivas e de inferência através de ANOVA de Friedman para medidas repetidas em amostras pareadas.

O projeto de pesquisa referente a este trabalho foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa com seres humanos através do CAAE de número 71236223.0.0000.8146.

4. Resultados e Discussão

A primeira análise deste trabalho fundamenta-se nos dados coletados através da EMADF. A aplicação desta escala, em dois momentos, antes e depois da implementação da IDP, permitiu realizar o levantamento da qualidade motivacional dos estudantes diante de situações que envolvem a realização de atividades de física. A tabela 1 apresenta a estatística descritiva dos fatores avaliados através da EMADF para a amostra de participantes que responderam a escala nos dois momentos (N=21).

Tabela 1 – Estatística descritiva para os dados coletados através da EMADF

Tipo de motivação	Momento	$\bar{x}$	σ	M_{dn}
Intrínseca	Antes	2.76	0.882	2.58
	Depois	3.87	0.720	3.83
Regulação externa – RS	Antes	1.77	0.733	1.63
	Depois	2.71	1.299	2.50
Desmotivação	Antes	1.69	0.612	1.45
	Depois	2.45	1.405	1.82
Regulação externa – RP	Antes	2.96	0.794	2.80
	Depois	2.81	1.321	3.00
Introjetada	Antes	3.02	1.459	2.33
	Depois	3.49	1.289	4.00
Identificada	Antes	3.52	0.738	3.45
	Depois	3.94	0.587	3.91

N = 21; $\bar{x}$: média amostral; σ : Desvio padrão; M_{dn} : mediana.

Tendo em vista que o tamanho da amostra é considerado pequeno (N<30), optou-se pela implementação de testes de inferência não-paramétricos. Desta forma, foi efetuado o teste de postos com sinais de Wilcoxon para amostras pareadas a fim de verificar em que medida a IDP foi capaz de produzir diferenças na percepção dos tipos de motivação autorrelatados pelos estudantes. O nível de significância (α) adotado nesta análise é de 0.05, o que implica assumir uma probabilidade de erro de 5% na inferência estatística. Desta forma, p-valores inferiores 0.05 denotam significância estatística, permitindo a consideração da hipótese alternativa (H_a) e a rejeição da hipótese nula (H_0)



(Siegel; Castellan, 2008). O tamanho de efeito foi identificado através do cálculo do *rank-bisserial* (r_b). Para tanto, foram testadas as seguintes hipóteses:

- H_0 = Não existe diferença estatística na comparação dos escores entre os tipos de motivação dos estudantes participantes antes e depois da IDP.
- H_a = Existe diferença estatística na comparação dos escores entre os tipos de motivação dos estudantes participantes antes e depois da IDP.

Os resultados do teste de Wilcoxon, apresentados na tabela 2, demonstraram que a IDP foi capaz de produzir percepções diferentes na forma como os estudantes identificam seu estado motivacional antes e depois da participação. Diferenças estatísticas foram observadas na percepção das motivações Intrínseca, Regulação Externa por Recompensas Sociais (RERS) e, Identificada, permitindo a rejeição da hipótese nula em favor da hipótese alternativa nesses casos. Para as motivações do tipo: Desmotivação, Introjada e Regulação Externa por Regras e Punições (RERP), a hipótese nula não foi rejeitada.

Tabela 2 – Teste de postos com sinais de Wilcoxon para amostras pareadas

Tipo de motivação	GL	Mediana antes	Mediana depois	W	p-valor	r_b
Intrínseca	20	2.58	3.83	0.000	<0.001	-1.000
RE – RS	20	1.62	2.50	23.0	0.002	-0.78
Desmotivação	20	1.46	1.82	66.5	0.092	-0.42
RE – RP	20	2.8	3.00	107.5	0.629	0.13
Introjada	20	2.33	4.00	46.5	0.163	-0.39
Identificada	20	3.46	3.91	26.5	0.018	-0.65

GL: graus de liberdade; W: estatística de Wilcoxon; r_b : Tamanho de efeito.

Em relação aos tipos autônomos de motivação (Intrínseca e Identificada), constatou-se aumento nas medianas depois que os estudantes passaram pela IDP. No que tange a motivação Intrínseca, o teste de Wilcoxon indicou que o aumento foi significativo ($p = 0.000063$), com tamanho de efeito alto. No que diz respeito à motivação Identificada, o teste também indicou que o aumento foi significativo ($p = 0.018$) com tamanho de efeito moderado. Com relação aos tipos controlados de motivação, era esperado que a IDP contribuísse para diminuir as percepções estudantis sobre a RERS. Entretanto, observou-se aumento da mediana depois da intervenção. O teste de Wilcoxon demonstrou que o aumento foi significativo ($p = 0.0022$), com tamanho de efeito moderado.

Sobre este aspecto, a TAD prevê que determinada ação ou comportamento humano são tipicamente influenciados por múltiplos motivos e fontes de motivação, o que justifica a presença de diferentes tipos de motivação em determinados momentos. Logo, é compreensível que, no caso dos estudantes, a participação em atividades de Física esteja acompanhada de valores elevados de percepção de motivação extrínseca, visto que este público almeja alcançar, por exemplo, bons resultados acadêmicos e reconhecimento social por seus esforços. É importante destacar que, em conjunto com o aumento deste tipo de motivação extrínseca, o aumento dos escores relativos às formas autônomas de motivação revela uma melhoria na qualidade motivacional dos estudantes, esperada com a aplicação da IDP.

A segunda análise reportada neste trabalho é concernente aos dados coletados através da EMNPB. A aplicação desta escala, em nove momentos ao longo da IDP, teve o objetivo de observar como a percepção dos estudantes sobre o apoio às suas NPB variou ao longo de sua participação na intervenção. Em virtude de uma falha no questionário virtual, não foi realizada coleta de dados na aula 9, tendo em vista que o planejamento inicial previa a aplicação desta escala em todas as aulas da IDP. A tabela 3 apresenta a estatística descritiva dos fatores avaliados através da EMNPB para os participantes que



responderam a escala todas as vezes em que foi proposta (N=12). Dados relativos a participantes que deixaram de responder a escala ao menos uma vez foram descartados da análise.

Tabela 3 – Estatística descritiva para os dados coletados através da EMNPB

	Válidos	Autonomia			Competência			Pertencimento		
	N	M _{dn}	$\bar{x}$	σ	M _{dn}	$\bar{x}$	σ	M _{dn}	$\bar{x}$	σ
Aula 1	12	3.38	3.46	0.933	3.75	3.66	0.814	3.5	3.57	0.906
Aula 2	12	4.44	4.24	0.83	4.5	4.22	0.918	4.67	4.47	0.677
Aula 3	12	4.5	4.46	0.58	4.79	4.55	0.605	4.5	4.51	0.463
Aula 4	12	4.88	4.64	0.534	4.67	4.64	0.434	4.67	4.65	0.337
Aula 5	12	4.56	4.33	0.629	4.62	4.51	0.358	4.5	4.44	0.509
Aula 6	12	4.62	4.35	0.817	4.79	4.46	0.574	4.33	4.38	0.599
Aula 7	12	4.69	4.41	0.66	4.75	4.47	0.578	4.17	4.11	0.74
Aula 8	12	4	4.15	0.593	4.42	4.28	0.583	4.33	4.19	0.724
Aula 10	12	4.69	4.53	0.44	4.58	4.51	0.372	4.58	4.42	0.566

M_{dn}: mediana; $\bar{x}$: média amostral; σ : Desvio padrão.

Considerando que os dados constituem um conjunto longitudinal proveniente de um único grupo, coletados ao longo da aplicação da IDP, a ferramenta estatística empregada envolve a realização de testes de diferenças para examinar a variação de uma mesma variável ao longo do tempo. Nesse sentido, foram conduzidas análises de variância (ANOVA) de Friedman de medidas repetidas para cada uma das variáveis (Autonomia, Competência e Pertencimento). Este, caracteriza-se por ser um teste não paramétrico, de acordo com Siegel e Castellan (2008), recomendado para análises de conjuntos pequenos de dados. Adotando um nível de significância de 0.05, foram testadas as seguintes hipóteses

- H_0 = Não existem diferenças estatísticas na percepção das NPB ao longo das aulas da IDP.
- H_a = Existem diferenças estatísticas na percepção das NPB ao longo das aulas da IDP.

A ANOVA de Friedman, para cada variável, comparou a variância de medidas pareadas, dos 12 participantes que responderam a EMNPB todas as vezes em que foi proposta. Constatou-se através do teste de Friedman que ao longo das 9 mensurações existiram diferenças estatísticas nas medidas de autonomia, competência e pertencimento, permitindo a rejeição da hipótese nula em favor da hipótese alternativa na comparação entre as três variáveis. Apesar do resultado dos testes de Friedman indicar a existência de diferenças estatísticas para os três fatores, faz-se necessário compreender entre quais aulas essa diferença torna-se significativa. Para tanto, o teste *post-hoc* de Dunn com correção de Bonferroni foi realizado para verificar diferenças na mediana da percepção estudantil sobre as NPB entre cada par de aulas, com o objetivo de identificar quais pares de medianas são estatisticamente diferentes entre si.

Em relação a autonomia, a ANOVA de Friedman mostrou que a percepção de apoio a essa necessidade psicológica aumentou estatisticamente ao longo da IDP [$\chi^2=23.551$, $p=0.0027$]. Entretanto, a realização do teste *post-hoc* mostrou que este efeito estatístico esteve presente apenas na comparação entre a primeira aula com as aulas 4 e 10 (p-valor igual a 0.001 e 0.006 respectivamente). Os p-valores para todas as comparações podem ser observados na tabela 4. Elementos previstos na IDP como liberdade de escolha sobre os materiais utilizados, escolha da forma como as competências foram demonstradas, escolha sobre a elaboração de estratégias e abordagens adotadas para a solução dos desafios, emergem como alguns dos fatores que podem justificar a melhora na percepção da necessidade de autonomia pelos estudantes participantes.



Tabela 4 – p-valores das comparações pareadas através do teste *post-hoc* de Dunn com correção de Bonferroni para o fator Autonomia

	Aula 1	Aula 2	Aula 3	Aula 4	Aula 5	Aula 6	Aula 7	Aula 8
Aula 2	0.080	-	-	-	-	-	-	-
Aula 3	0.055	1	-	-	-	-	-	-
Aula 4	0.001	1	1	-	-	-	-	-
Aula 5	0.451	1	1	1	-	-	-	-
Aula 6	0.062	1	1	1	1	-	-	-
Aula 7	0.186	1	1	1	1	1	-	-
Aula 8	0.828	1	1	1	1	1	1	-
Aula 10	0.006	1	1	1	1	1	1	1

No que se refere a Competência, o teste de Friedman mostrou que a percepção de apoio a essa necessidade psicológica apresentou aumento estatístico ao longo da IDP [$\chi^2 = 24.896$, $p = 0.0016$]. O teste *post-hoc* mostrou que este efeito existiu nas comparações pareadas entre a aula 1 (antes da IDP) e as aulas 3,4,6 e 10. Na tabela 5 estão organizados os p-valores para todas as comparações. É importante observar que a satisfação desta NPB apresentou um aumento gradativo durante o curso das aulas. Quatro aumentos estatísticos significativos em relação ao escore registrado na aula 1, evidenciam que a utilização do Arduino foi capaz de oferecer desafios em nível ótimo, flexíveis e com nível crescente de dificuldade, colaborando para melhoria na percepção de competência pelos participantes.

Tabela 5 – p-valores das comparações pareadas através do teste *post-hoc* de Dunn com correção de Bonferroni para o fator Competência

	Aula 1	Aula 2	Aula 3	Aula 4	Aula 5	Aula 6	Aula 7	Aula 8
Aula 2	0.103	-	-	-	-	-	-	-
Aula 3	0.006	1	-	-	-	-	-	-
Aula 4	0.007	1	1	-	-	-	-	-
Aula 5	0.048	1	1	1	-	-	-	-
Aula 6	0.009	1	1	1	1	-	-	-
Aula 7	0.071	1	1	1	1	1	-	-
Aula 8	0.828	1	1	1	1	1	1	-
Aula 10	0.005	1	1	1	1	1	1	1

Por fim, a ANOVA de Friedman também indicou que a percepção sobre o apoio à necessidade psicológica de Pertencimento aumentou estatisticamente ao longo da IDP [$\chi^2 = 17.5$, $p = 0,025$]. No entanto, o teste *post-hoc* indicou que este efeito foi significativo apenas na comparação pareada entre a aula 1 e aula 4. O resultado deste procedimento estatístico pode ser observado na tabela 6.

Tabela 6 – p-valores das comparações pareadas através do teste *post-hoc* de Dunn com correção de Bonferroni para o fator Pertencimento

	Aula 1	Aula 2	Aula 3	Aula 4	Aula 5	Aula 6	Aula 7	Aula 8
Aula 2	0.081	-	-	-	-	-	-	-
Aula 3	0.293	1	-	-	-	-	-	-
Aula 4	0.043	1	1	-	-	-	-	-
Aula 5	0.615	1	1	1	-	-	-	-
Aula 6	0.555	1	1	1	1	-	-	-
Aula 7	1	1	1	1	1	1	-	-
Aula 8	1	1	1	1	1	1	1	-
Aula 10	0.187	1	1	1	1	1	1	1



No que diz respeito a necessidade de pertencimento, a IDP previu a implementação de atividades e desafios que favoreceram a colaboração entre colegas da mesma equipe, promovendo a cooperação de forma ativa e facilitando o estabelecimento de vínculos emocionais e afetivos entre colegas e docente/pesquisador. Chama atenção o fato de que é na aula 4 que os estudantes apresentaram os níveis mais elevados de percepção de apoio não apenas de pertencimento, mas também de autonomia e competência. Esta aula, em especial, consistiu na resolução em equipe de uma sucessão de desafios com grau de dificuldade progressivo, relacionados a elaboração de um sistema de semáforos sincronizados. Para as atividades desta aula, não houve apresentação de um conteúdo ou tópico novo, apenas espaço para aplicação livre de conhecimentos previamente abordados, com liberdade para elaboração de estratégias de prototipagem e programação do Arduino relativos aos desafios propostos.

Constata-se, portanto, que o emprego do Arduino como componente essencial na elaboração da IDP permitiu potencializar aspectos previstos pela TAD, como o suporte às NPB. O uso do Arduino, em conjunto com as diversas metodologias ativas associadas ao seu emprego didático, promoveu a criação de um contexto educacional de apoio a autonomia, a competência e o pertencimento, conduzindo à melhoria da qualidade motivacional dos estudantes, conforme demonstram os resultados quantitativos apresentados.

5. Conclusões

O objetivo principal deste trabalho, foi o de analisar possíveis impactos do uso do Arduino sobre a motivação estudantil no contexto de aplicação do microcontrolador em atividades prático-experimentais no ensino da física. A aplicação de uma IDP, elaborada à luz da teoria da autodeterminação, propiciou a aplicação de escalas motivacionais que permitiram avaliar mudanças na percepção do estado motivacional, bem como da satisfação das NPB dos estudantes ao passo em que participavam das atividades previstas nas aulas.

Diante dos resultados apresentados, podemos observar que a participação dos estudantes na IDP foi capaz de promover uma influência positiva sobre a percepção de apoio às NPB de autonomia, competência e pertencimento. Testes *post-hoc* ainda foram capazes de apontar que as diferenças estatísticas foram ainda mais pronunciadas na comparação pareada dos escores entre as aulas 1–4 e 1–10, para a autonomia, 1–3, 1–4, 1–6 e 1–10 para a competência e 1–4 para a necessidade de pertencimento. Este impacto positivo sobre a percepção de apoio às NPB consiste em um aspecto importante para melhoria da qualidade motivacional dos estudantes, uma vez que a TAD, de acordo com Ryan e Deci (2017), atrela à satisfação das NPB a promoção das formas autônomas de motivação, as quais tendem a conduzir ao aumento do envolvimento, aprendizagem e bem-estar dos estudantes.

Em relação à qualidade motivacional, as análises apontaram que a participação na IDP promoveu uma evolução, evidenciada a partir da comparação dos escores entre a primeira e a última aula, relacionado a percepção de três tipos de motivação: intrínseca, identificada e extrínseca com regulação externa por recompensas sociais. Destaca-se ainda o aumento proeminente na motivação intrínseca dos estudantes depois da sua participação na IDP. Esses resultados permitem associar a melhora na qualidade motivacional dos estudantes ao suporte às NPB oferecidas pelo Arduino durante seu emprego nas atividades da IDP. A melhora da qualidade motivacional consiste num fator importante para o contexto da aprendizagem, uma vez que as formas mais autônomas de motivação, de acordo com Ryan e Deci (2017), constituem-se como um elemento crítico para o desenvolvimento cognitivo, social e físico dos estudantes.

Considerando a complexidade que envolve o fenômeno motivação, os resultados apresentados neste trabalho não permitem assumir que o Arduino seja o único fator associado à melhoria da qualidade motivacional dos estudantes. Contudo, os dados apresentam evidências que sustentam a afirmação de que a IDP, em conjunto com as metodologias ativas associadas à aplicação didática do Arduino no contexto do ensino de física, está relacionada à oferta de condições para a satisfação das NPB dos estudantes. Além disso, indicam que o emprego da plataforma pode ser um fator determinante para o desenvolvimento positivo da qualidade motivacional estudantil, sobretudo na melhoria e manutenção da motivação intrínseca.

Referências

- ALMEIDA, M. M. Experimento de baixo custo para medição da dissipação da energia em um pêndulo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 43, p. 1-10, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0360>.
- CLEMENT, L. **Autodeterminação e ensino por investigação**: Construindo elementos para promoção da autonomia em aulas de física, 2013, 334 f, Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013, Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/122808>, Acesso em: 10 jan, 2023,
- CLEMENT, L.; CARMINATTI, N. L.; FREIRA, J. F. T. Necessidades psicológicas básicas no contexto de estudos sobre motivação em aulas de física: evidências de validade de uma escala, **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 103-122, 13 maio 2020, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), <http://dx.doi.org/10.5007/1982-5153.2020v13n1p103>,
- GUVEN, G.; CAKIR, N. K.; SULUN, Y.; CETIN, G.; GUVEN, E. Arduino-assisted robotics coding applications integrated into the 5E learning model in science teaching. **Journal Of Research On Technology In Education**, [S.L.], v. 54, n. 1, p. 108-126, 2 nov. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15391523.2020.1812136>.
- MOREIRA, M. P. C.; ROMEU, M.C.; ALVES, F.R.V.; SILVA, F.R.O. Contribuições do Arduino no Ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 721-745, 18 dez. 2018. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n3p721>.
- REEVE, J. **Motivação e Emoção**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 356 p.
- RYAN, R. M.; DECI, E. L. **Self-Determination Theory**: Basic psychological needs in motivation, development, and wellness. New York: The Guilford Press, 2017. 756p.
- SANTOS, P. J. S.; VARGAS, J.S. Análise da carga cognitiva em atividades para introdução ao Arduino em aulas de Física. **Renote**, [S.L.], v. 20, n. 2, p. 176-185, 2 jan. 2023. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://dx.doi.org/10.22456/1679-1916.129167>.
- SIEGEL, S.; CASTELLAN JUNIOR, J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 448 p.
- SOUSA JUNIOR, I. V.; MIRANDA, J.O.S.; NASCIMENTO, A.C.S.; ARAÚJO, F.R.V. Física experimental com Arduino: ondas em uma corda tensionada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 42, p. 1-10, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2020-0177>.