

# Suplementação luminosa aplicada ao cultivo de hortaliças

Messias de Lara Teixeira  
Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul, Brasil  
messias\_teixeira@hotmail.com

Luis Eduardo da Rosa Machado  
Universidade Federal de Santa  
Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul, Brasil  
luiseduardo\_drm@outlook.com

Dion Lenon Prediger Feil  
Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul, Brasil  
dion.feil@ufsm.br

Paulo César Vargas Luz  
Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul, Brasil  
paulo.c.luz@ufsm.br

**Resumo**—A iluminação artificial aplicada na agricultura é uma tecnologia que já vem sendo utilizada no cultivo de plantas, podendo ser de maneiras diferentes, tais como o cultivo *indoor* e a suplementação luminosa, que incrementa as horas de luz que determinada planta recebe diariamente. Devido à importância que este tema aborda, e com a carência de estudos que demonstrem a viabilidade da utilização da iluminação artificial na agricultura, o presente trabalho apresenta um estudo de forma prática no âmbito da suplementação luminosa, verificando o impacto e a viabilidade econômica da aplicação de um sistema no cultivo de alface (*Lactuca sativa*). Para aplicar este estudo, foram implementados 10 canteiros para cultivo de alface, contendo iluminação artificial com lâmpadas LED (*Light Emitting Diode* - diodos emissores de luz). Os resultados de um ciclo de cultivo e colheita indicam o tempo ótimo de suplementação luminosa em 6 horas diárias, impactando em crescimento de aproximadamente 47% maior nas hortaliças com suplementação, em comparação aos pés sem a técnica.

**Palavras-chave** — *Suplementação luminosa, cultivo de hortaliças, iluminação artificial, LED.*

## I. INTRODUÇÃO

Estimativas mostram que até 2050 a população mundial chegará a mais de nove bilhões de pessoas, e grande parte dessa população viverá nas cidades [1]. Juntamente ao aumento populacional, a demanda de alimentos crescerá, sendo necessário o uso de tecnologias para aumentar a produção, e, assim, suprir as grandes demandas. Nesse cenário, a iluminação artificial na agricultura é uma tecnologia utilizada para aumentar a produção de alimentos [2].

A iluminação artificial pode ser utilizada tanto em cultivos em ambientes fechados (cultivo *indoor*), quanto em ambientes abertos. Em ambientes fechados, não se tem influência da luz solar, já em ambientes abertos, a iluminação artificial pode ser utilizada como suplementação luminosa [2]. A utilização da suplementação luminosa no cultivo de plantas é uma área que carece de estudos que demonstrem e quantifiquem os impactos destas tecnologias.

Aliado a isso, outro ponto norteador do trabalho é a aplicabilidade dos sistemas propostos e avaliados em produções que se enquadrem no cenário de agricultura familiar. No Brasil, a agricultura familiar é responsável por grande parte da produção de alimentos do país. O IBGE divulgou em 2009 os resultados do Censo Agropecuário de

2006, que quantificou a contribuição deste setor para a economia brasileira. Estes números mostram que a agricultura familiar é responsável pela produção de cerca de 69% das hortaliças no país. Já os dados de 2017, apontam que a agricultura familiar atingiu o valor de produção superior a R\$107 bilhões, o que equivale a 23% de toda a produção agropecuária brasileira [3], [4].

## II. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NA AGRICULTURA

A iluminação artificial na agricultura é um tema bem explorado nos tempos atuais, pois a iluminação é um dos fatores de maior importância para o desenvolvimento e produtividade das plantas [5]. A iluminação artificial aplicada na agricultura tem o intuito de fornecer luz que não provém do sol, mas sim de lâmpadas. Estas, são lâmpadas LED, basicamente devido capacidade destes em sintetizar luz em comprimentos de onda específicos aliada a uma elevada eficácia luminosa (lm/W). Os comprimentos de onda de maior importância para o crescimento de plantas são 650nm (vermelho) e 450nm (azul). Essa emissão não é possível em outras tecnologias de lâmpadas, como por exemplo HPS, que emite basicamente no comprimento de onda 580nm (amarelo), ou fluorescente, que pode ter picos de emissão em 400nm (azul), 600nm (amarelo) e 500nm (verde).

O controle de luz de um sistema de iluminação artificial, normalmente, é feito por computadores e sensores de iluminação, que fazem a leitura da luminosidade e liberação do fornecimento de luz quando necessário. Segundo estudos, um sistema de iluminação artificial pode gerar economia de 20% a 45%, dependendo do período do ano [6]. Hoje em dia, existem vários tipos de aplicações e estudos no âmbito de iluminação artificial, como o cultivo *indoor*, fazendas verticais, suplementação luminosa.

### A. Fazendas verticais

O termo fazenda vertical ficou conhecido no ano de 1999 em nova York, através do professor de microbiologia Dickson Despommier. Posteriormente, a partir de 2011, o professor lançou o livro “The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century”, e com isso, o conceito de fazenda vertical ficou mais popular [7]. A maior vantagem de uma fazenda vertical é o aproveitamento do espaço, pois são colocadas prateleiras acopladas uma sobre a outra, podendo-se, assim, multiplicar a produção por cem vezes mais do que a produção convencional [8].

No local de produção das plantas, se tem o controle de pragas e doenças mantendo-se uma rigorosa rotina de higienização. A luz mais utilizada nas aplicações, hoje em dia, nas fazendas verticais em empresas é o LED na cor rosa, podendo ser a junção do azul com o vermelho. O sistema que controla os fatores que influenciam no desenvolvimento das plantas, conta com uma irrigação automatizada, que fornece nutrientes para as plantas por meio da água. Não somente a água e nutrientes são controlados, mas também: ventilação, iluminação, temperatura [8].

No Brasil, um exemplo de aplicação de fazenda vertical é a empresa *Pink Farms*, com uma produção de três toneladas de alimento por mês, com uma economia de 95% de água e 60% de fertilizantes.

### B. Cultivo indoor

O cultivo *indoor* é feito em ambiente fechado, onde se controla os fatores que influenciam no crescimento de plantas. Este ambiente consegue funcionar sem influência dos fatores climáticos, podendo ser feito a redução dos recursos naturais necessários, como o consumo da água [9]. O cultivo *indoor* pode ser aplicado em grande e pequena escala, respectivamente, em fazendas verticais e sistemas aplicados de forma doméstica e sem fins lucrativos, em pequenas estufas.

Um exemplo de cultivo em ambiente fechado (*indoor*) no Brasil é a empresa Brota, onde esta produz pequenas hortas que podem ser usadas dentro de uma residência. As hortas medem 20 centímetros de largura e 20 centímetros comprimento, onde contêm 6 cápsulas separadas. Cada uma dessas cápsulas tem um solo preparado para uma espécie específica de planta [9].

### C. Suplementação luminosa

As plantas necessitam de uma quantidade de horas de luz diariamente para o seu desenvolvimento. O período diário que a planta pode receber mais ou menos luz é chamado de fotoperíodo crítico. No entanto, muitas vezes as plantas ao ar livre não recebem a iluminação devida, por diversos fatores. Para solucionar estes problemas, utiliza-se da suplementação luminosa com lâmpadas LED, onde é feita a dinâmica entre a luz natural (sol) e a luz artificial, para suprir as necessidades fotossintéticas da planta [2].

Um exemplo atual de suplementação luminosa são adaptações de luminárias LED em pivôs de irrigação, aplicados a grandes cultivos de grãos, principalmente soja [10]. Outra aplicação, utilizando até mesmo lâmpadas de vapor sódio, são sistemas de suplementação luminosa aplicada aos campos de futebol, que não possuem iluminação uniforme do gramado [11].

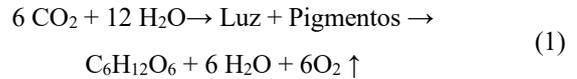
## III. FISILOGIA DAS PLANTAS

As plantas possuem vários processos fisiológicos no seu desenvolvimento, estes processos são realizados por elas para produzir energia para o seu crescimento. A energia luminosa é utilizada nestes processos fisiológicos, sendo fundamental para estas. Desta forma, para que as plantas venham se desenvolver bem, a iluminação deve ser controlada, satisfazendo suas necessidades luminosas. Para compreender melhor sobre a importância da luz nesse processo, são abordados alguns conceitos, tais como: fotossíntese, fotoperíodo, absorção luminosa, e sistemas de medição de luz.

### A. Fotossíntese

A fotossíntese é um processo realizado por plantas e outros tipos de organismos para transformar a energia provinda da luz, do sol ou artificial, para suprir suas

necessidades fotossintéticas. Durante o processo de fotossíntese, as plantas utilizam da energia luminosa, para fornecer elétrons para a oxidação da água, para que assim, possam transformar o dióxido de carbono em carboidratos, e, posteriormente, em oxigênio. Esse processo é realizado por meio de pigmentos fotossintéticos, que são a clorofila (vermelho e azul), carotenoides e bilinas [12]. O processo da fotossíntese pode ser demonstrado por (1).



### B. Fotoperíodo

O fotoperíodo é o tempo em que há radiação luminosa durante um período de um dia, onde tem seu início e fim ao pôr do sol. Este tempo de radiação luminosa influencia de forma importante nos processos de desenvolvimento das plantas, como: crescimento de caule e folhas, floração, germinação das sementes, formação de órgãos de reserva.

As plantas tem um ritmo para os seus processos metabólicos, como respiração e liberação de oxigênio, onde estes processos ocorrem em períodos específicos do dia. Este ritmo é chamado de ritmo circadiano, que é conduzido a partir de estímulos exógenos e endógenos, onde ocorre em todos os seres vivos. Desta forma, cada tipo de planta necessita de um tempo de exposição à luminosidade, com isso, são divididas em plantas de dia longo, e plantas de dia curto. As plantas de dia curto necessitam de um período escuro maior, já as plantas de dia longo necessitam de uma noite menor. Com isso, quando é feito o controle e regulação do fotoperíodo de um determinado tipo de planta, podem ocorrer alterações fisiológicas na mesma [13]. Um exemplo de planta de dia longo é a alface, onde tem sua floração no fim da primavera e no verão, e necessita de 14 a 16 horas de luz diárias [14].

### C. Absorção luminosa

As plantas fazem absorção da radiação luminosa em faixas específicas de comprimentos de ondas, isto é, de cores específicas. A eficácia de absorção e o uso da radiação para produção fotossintética estão relacionadas ao comprimento de onda da iluminação. A curva de eficiência quântica (RQE, *Relative Quantum Efficiency*) demonstra a relação da eficácia da absorção das plantas quando da utilização de determinados comprimentos de onda [13]. A Fig. 1 demonstra uma comparação da sensibilidade aos comprimentos de onda RQE média das plantas superiores (aqueles que possuem vasos condutores de seiva), e a sensibilidade visual fotópica do olho humano (SVFH). Pode-se notar, na curva da Fig. 1, que a sensibilidade das plantas é maior nas faixas de comprimento de onda do vermelho (610-630 nm) e do azul (430 nm) [12].

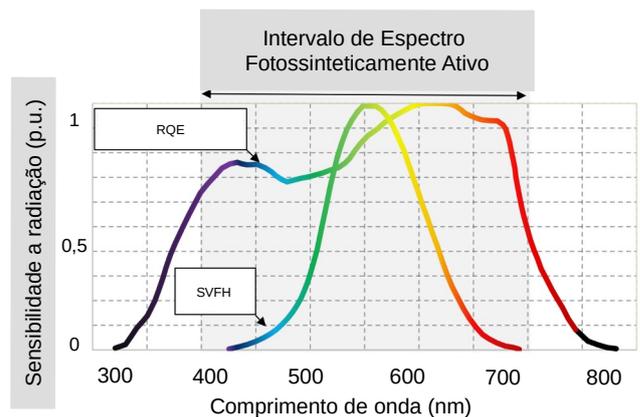


Fig. 1. Intervalo de espectro fotossinteticamente ativo.

Os receptores da radiação luminosa, no estudo da fisiologia vegetal, podem ser de dois tipos: os fitocromos e os criptocromos/fototropinas. Os fitocromos são pigmentos receptores de fótons que absorvem radiação nos comprimentos de onda mais longos do espectro eletromagnético, mais especificamente na cor vermelho. Estes pigmentos são responsáveis por processos de desenvolvimento e metabolismo celular, atuando na germinação, crescimento, desenvolvimento reprodutivo, e no sincronismo circadiano. Os criptocromos e as fototropinas são uma família de pigmentos que absorvem radiação nos comprimentos de onda mais curtos do espectro eletromagnético, mais especificamente na cor azul. São responsáveis pelo fototropismo, movimentos estomáticos, alongamento do caule, sincronismo circadiano e biossíntese de pigmentos. Desta forma, nota-se que a radiação nos comprimentos de onda da cor azul e vermelho são de suma importância para o desenvolvimento das plantas, sendo que suas necessidades fisiológicas são alcançadas [13].

#### D. Avaliação do crescimento das hortaliças

Os aspectos que são avaliados para quantificar o crescimento de hortaliças, tais como a alface, são:

**Número de folhas (NF):** É o número de folhas de cada pé de alface, contados manualmente no momento da colheita.

**Diâmetro do pé (D):** Maior distância entre as extremidades do pé de alface, medido manualmente com régua no momento da colheita.

**Área Foliar (AF):** Área da maior folha do pé de alface, aproximada pelo produto do comprimento pela largura da folha. Este índice é obtido no momento da colheita.

**Peso (P):** Peso do pé de alface medido com balança no momento da colheita.

Através da quantificação desses índices, pode-se inferir o crescimento das hortaliças submetidas a suplementação com relação àquelas sem.

#### E. Sistemas de medição da luz

Em um sistema de iluminação artificial para o cultivo de plantas, se tem a necessidade de medir a quantidade de luz que está irradiando sobre este cultivo, para que assim, possa-se dimensionar um sistema de iluminação que venha suprir as necessidades fotossintéticas das plantas, sem causar danos em seu desenvolvimento, sendo por falta de iluminação ou por excesso. Existem alguns tipos de sistemas de medição de radiação luminosa, mas ainda não há uma aceitação ampla para um tipo de sistema específico. Os sistemas de medição de radiação que existem hoje são: sistema radiométrico, fotométrico e o quântico. O sistema de medição quântico tem sua base em mols, onde este possui três formas de detecção: PPF, YPF E PPF. O sistema radiométrico atua na curva que mostra a resposta da sensibilidade à luz, nos comprimentos de onda entre 300nm a 800nm. Já o sistema fotométrico atua na curva RQE entre 320nm a 780nm. O sistema quântico atua nos comprimentos de onda entre 400nm e 700nm, onde sua resposta de sensibilidade à radiação pode ser de três tipos: totalmente plana, quântica (energia dos fótons), e a terceira, irregular, que depende da absorvância dos fótons determinado pela curva RQE. Estas respostas podem ser vistas na Fig. 2 [12].

Como as plantas recebem energia luminosa através dos fótons, o sistema quântico é considerado o mais adequado para medir a quantidade de luz de uma fonte luminosa, pois verifica a quantidade de fótons por segundo em um metro quadrado de área. Desta forma, para aplicar o sistema de medição quântico, necessita-se de instrumentos específicos, não sendo de fácil acesso. Existe uma correlação entre a medida quântica (PPFD) e a medida fotométrica, e com isso,

pode ser feita uma medida fotométrica em lux, por meio de um luxímetro, e verificar a sua correlação com o valor quântico em  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Existem calculadoras online que convertem o valor de lux para PPF [15].

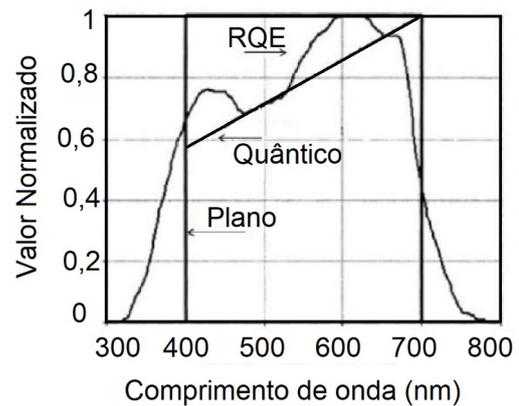


Fig. 2. Sistemas de medição de radiação luminosa.

## IV. METODOLOGIA

Para avaliar o impacto da suplementação luminosa no cultivo de hortaliças, é proposto o cultivo de alface sob diferentes tempos de suplementação luminosa. Foram 10 canteiros de  $1\text{m}^2$ , dos quais estiveram sujeitos a diferentes tempos de suplementação, de acordo com a Tabela I.

Ao final do ciclo de cultivo, foi realizada a colheita e a mensuração dos aspectos de quantificação (número de folhas, diâmetro, área foliar e peso).

TABELA I. TEMPOS DE SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA PROPOSTOS.

Canteiros	Tempo
1 e 2	12 horas
3 e 4	6 horas
5 e 6	4 horas
7 e 8	2 horas
9 e 10	Sem suplementação

As médias por canteiro com suplementação foram avaliadas e comparadas com os valores para os canteiros sem suplementação. A diferença percentual entre essas medidas foi inferida como aumento percentual da produção (em reais) do canteiro para um mesmo ciclo. Isto é, se um canteiro obtiver 10% a mais de crescimento, é assumido 10% mais de retorno financeiro do canteiro.

Com base nesses resultados, é apresentado a avaliação de viabilidade econômica, considerando o investimento inicial do sistema, o consumo de energia do mesmo e ainda o retorno financeiro dos canteiros. Esse processo é cíclico, e os resultados apresentados nesse trabalho são referentes ao primeiro ciclo de plantio de um total de 10 que serão realizados. A Fig. 3 apresenta um fluxograma que ilustra a metodologia proposta.

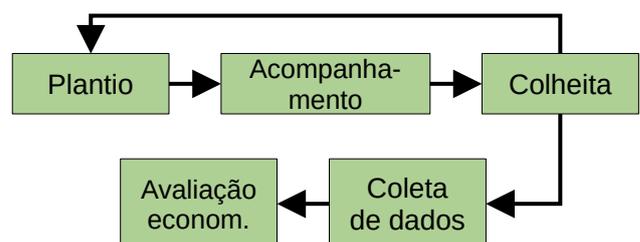


Fig. 3. Metodologia proposta.

## V. SISTEMA DESENVOLVIDO

O sistema desenvolvido é constituído, basicamente, de duas partes: a horta e o sistema de iluminação.

### A. Horta

A horta desenvolvida possui uma área de 50 m<sup>2</sup> (5m x 10m), dividida em 10 canteiros de 1m<sup>2</sup> cada, conforme ilustrado na Fig. 4 e Fig. 5.



Fig. 4. Horta do projeto.

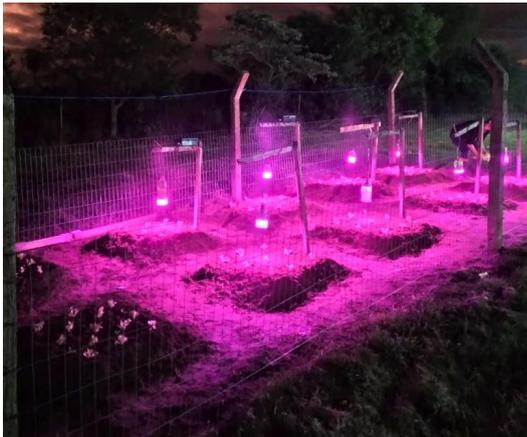


Fig. 5. Horta no período noturno.

Em cada canteiro foi plantado nove pés de alface. Oito desses canteiros recebeu uma luminária LED, responsável pela suplementação luminosa dos mesmos. Dois dos canteiros foram mantidos sem suplementação para servir como base de comparação. Todos os canteiros receberam os mesmos cuidados quanto a irrigação, adubo e tratamento de pragas.

### B. Sistema de iluminação

Dos 10 canteiros, 8 receberam suplementação luminosa. A suplementação foi realizada através de lâmpadas LED de 16 W da marca Kaguyahime. Estas lâmpadas emitem luz nos comprimentos de onda 650nm (vermelho) e 450nm (azul) e são chamadas de são também chamadas de “Led Grow Light”. As luminárias foram instaladas a 30 cm acima dos canteiros, garantindo uma intensidade luminosa de aproximadamente 900 lux a cada canteiro. Este valor foi medido no centro do canteiro, o que garantiu uma intensidade luminosa média de 600 lux a cada canteiro. Esse valor de intensidade luminosa garante um valor médio de PPFD de 88 $\mu$ mol/s/m<sup>2</sup>. Cabe salientar que o valor de intensidade luminosa que um canteiro teve sobre outro teve valores inferior à 50 lux em todos sistemas medidos.

Estas lâmpadas foram acionadas através de uma relé temporizada, sendo todas acionadas às 18 horas e desligadas sequencialmente às 20hrs, 22hrs, 24hrs e 6hrs, aos pares. A Fig. 6 ilustra o esquema elétrico implementado.

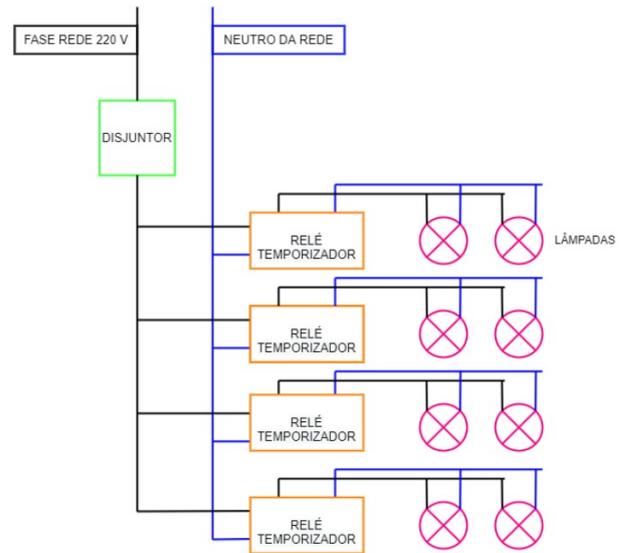


Fig. 6. Esquema do circuito de iluminação implementado.

## VI. RESULTADOS OBTIDOS

O tempo de cultivo foi de 63 dias, resultando na colheita dos 90 pés de alface. A Fig. 7 apresenta um dos canteiros no dia da colheita. No momento da colheita, os índices de número de folhas (NF), área foliar (AF), diâmetro (D) e peso (P) foram tabelados. Os valores médios desses indicadores, por canteiro, são apresentados na Tabela II.



Fig. 7. Canteiro com nove pés de alface no momento da colheita.

TABELA IV. ÍNDICES QUANTITATIVOS MÉDIOS POR CANTEIRO.

Canteiro	NF	AF (cm <sup>2</sup> )	D (cm)	P (g)
1	28	329,06	30,12	316,75
2	26	308	29,75	286,75
3	28	323,55	30,55	312,44
4	27	287,92	29,22	302,66
5	23	274,93	28,66	234,88
6	27	281,66	30,11	270,88
7	24	253,22	28,66	253,22
8	25	263,03	28	253,11
9	19	263,03	26	197,77
10	21	211,54	26,66	223,88

Os resultados dos canteiros com suplementação luminosa (1 ao 8) foram então comparados com os resultados dos canteiros sem iluminação (9 e 10), e calculado a diferença percentual entre esses, apresentadas na Tabela III. Os

canteiros foram comparados com aqueles da mesma coluna, ou seja, aqueles que estavam sob a mesma incidência transversal ao curso do sol. Na Tabela III ainda é apresentado o valor médio das diferenças percentuais entre os índices avaliados.

TABELA V. VALORES MÉDIOS PERCENTUAIS DE CRESCIMENTO.

Canteiros	NF	AF	D	P	Média
1 e 9	47,36	66,11	15,86	60,15	47,37
3 e 9	47,36	63,33	17,52	57,97	46,54
5 e 9	21,05	38,78	10,26	18,76	22,21
7 e 9	26,31	27,82	10,25	26,17	22,64
2 e 10	23,80	45,59	11,56	28,07	27,26
4 e 10	28,57	36,10	9,58	35,18	27,36
6 e 10	28,57	33,15	12,91	20,99	23,60
8 e 10	19,04	24,34	5	13,08	15,36

Na Tabela III pode ser observado que todos os canteiros com suplementação luminosa tiveram um crescimento percentual maior que aqueles sem suplementação. Sendo os maiores índices de crescimento os canteiros 3 e 1, aqueles com 6 horas e 12 horas de suplementação, respectivamente. A Fig. 8 e 9 apresentam os valores percentuais desta tabela para os canteiros com numeração ímpar e par, respectivamente. Os canteiros com numeração ímpar apresentaram maiores crescimentos, pois sofreram maior exposição a iluminação natural, devido à disposição dos canteiros com relação ao curso do sol. A Fig. 7 apresenta a distribuição dos canteiros com relação ao nascente e poente do sol.



Fig. 7. Valores médios percentuais dos índices para os canteiros pares.

Embora os valores obtidos para os canteiros ímpares tenham sido com magnitudes superiores, ambas as comparações seguiram mesmo padrão. Ficou claro que, com o aumento do número de horas de suplementação, houve também um aumento do crescimento das hortaliças. Sendo que os pés de alface com maiores índices alcançaram crescimento de aproximadamente 47% maior do que aqueles sem suplementação luminosa. Para duas horas de suplementação, canteiros 7 e 8, os pés de alface tiveram crescimento médio de 22,64% e 15,36% maior que os canteiros sem suplementação, respectivamente.

Ainda é possível observar que a suplementação luminosa de 6 horas (canteiros 2 e 3) obtiveram resultados muito próximos aos canteiros com 12 horas de suplementação (canteiros 1 e 2). Isto indica que o crescimento da hortaliça, apesar de ser maior para maior tempo de suplementação, apresenta um valor limite. Nos experimentos este valor ficou em 6 horas, no entanto, este tempo deve ser avaliado para outros intervalos, como por exemplo 7, 8 e 9 horas.

Com isso, fica evidente o impacto positivo da suplementação luminosa no crescimento das hortaliças. No entanto, este sistema possui um investimento de instalação e ainda gasto contínuo com energia elétrica. Com o intuito de avaliar a viabilidade econômica da proposta, é feita a análise apresentada na próxima seção.

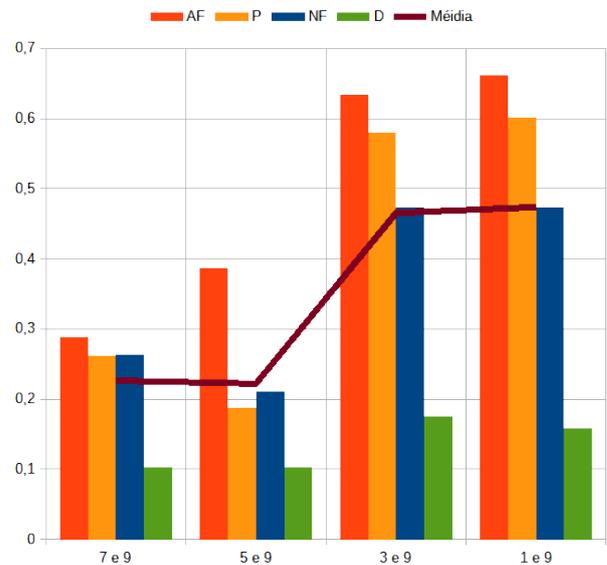


Fig. 8. Valores médios percentuais dos índices para os canteiros ímpares.

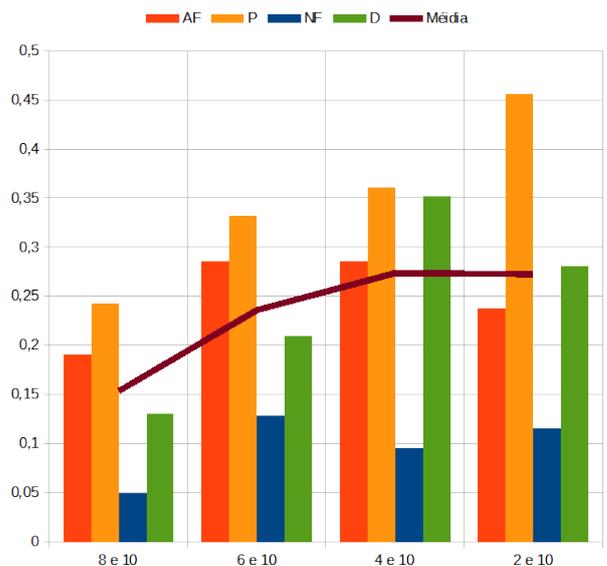


Fig. 9. Valores médios percentuais dos índices para os canteiros pares.

## VII. ANÁLISE ECONÔMICA

Com base nas médias das diferenças percentuais entre os índices avaliados, foi inferido que este crescimento teria rendimento financeiro de mesmo percentual, para que se pudesse realizar a análise econômica. Por exemplo, o canteiro 1 teve a média das diferenças percentuais de 47,37% maior que o canteiro sem suplementação, dessa forma, foi assumido que este tem um valor de retorno de também 47,37%.

Assumindo o preço de venda base de uma alface em R\$2,00, foi proposto o preço de venda das hortaliças com suplementação proporcional a média das diferenças percentuais dos índices. A Tabela IV apresenta o preço de venda da hortaliça para cada tempo de suplementação.

O investimento inicial do sistema depende de quantos pés de alface serão cultivados. Para a análise, foi assumido o número de 80 pés. Este número é definido em função do

número máximo de lâmpadas acionadas pelo relé temporizado. Os valores do investimento de instalação do sistema são apresentados na Tabela V.

TABELA IV. VALOR DE VENDA ESTIMADO POR PÉ POR CANTEIRO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA.

Horas de suplementação	Preço
0 horas	R\$ 2,00
2 horas	R\$ 2,4528
4 horas	R\$ 2,4780
6 horas	R\$ 2,9308
12 horas	R\$ 2,9474

Outro valor a ser considerado é o consumo de energia, o qual é contínuo e depende do tempo de suplementação e também do valor da tarifa. A relé temporizada consome 11 Watts, e assumindo o valor da tarifa de R\$ 0,52153, foi calculado o custo em energia elétrica por mês para os diferentes tempos de suplementação, apresentado na Tabela VI.

TABELA V. INVESTIMENTO INICIAL EM EQUIPAMENTOS PARA O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO.

Material	Qtd	Valor un. (R\$)	Total (R\$)
Lâmpadas	8	70	560
Relé	1	80	80
Suportes	8	5	40
Cabos	90	2,5	225
Total (R\$)			905

TABELA VI. INVESTIMENTO MENSAL EM CONSUMO DE ENERGIA.

Tempo de suplementação	Valor
0 horas	R\$ 0,00
2 horas	R\$ 4,3465
4 horas	R\$ 8,6991
6 horas	R\$ 13,0486
12 horas	R\$ 26,0973

Dessa forma, pode ser calculado o retorno anual do sistema para os diferentes tempos de suplementação luminosa, fazendo a receita bruta (total produzido pelos canteiros) e subtrair o investimento (inicial mais o contínuo em energia elétrica). Se valendo destes valores, foram calculados os indicadores TIR (taxa interna de retorno), VPL (valor presente líquido) e *payback* (tempo de retorno) do sistema, assumindo uma taxa mínima de atratividade de 15% e um período de análise de 5 anos. Estes indicadores são apresentados na Tabela VII.

TABELA VII. INDICADORES ECONÔMICOS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE SUPLEMENTAÇÃO.

Suplementação	VPL	TIR	Payback
2 horas	- R\$ 351,39	- 3%	66 meses
4 horas	- R\$ 485,81	- 11%	86 meses
6 horas	+ R\$ 67,79	18%	37 meses
12 horas	- R\$ 430,39	-8%	76 meses

Para todos os indicadores calculados, o sistema com 6 horas de suplementação luminosa foi o único que apresentou viabilidade econômica. Isto é, única proposta que apresentou VPL e TIR positivos e ainda o menor tempo de retorno. Isto se deve pelo maior crescimento observado para este sistema,

e ainda menor investimento em energia elétrica, quando comparado à proposta de 12 horas de suplementação.

## VIII. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, embora que preliminares, indicam o grande potencial da proposta. O crescimento de 47% maior para o sistema com 6 horas de suplementação aponta que existe um tempo ótimo que maximize o retorno financeiro do canteiro.

A avaliação econômica aponta na mesma direção, isto é, a maximização de produção da horta ocorre em 6 horas de suplementação luminosa. Esse valor é condizente com o fotoperíodo da hortaliça cultivada, até 14 horas. Mais dados devem ser coletados em mais ciclos de plantio para confirmar os resultados obtidos. Ainda deve ser feita a avaliação econômica em função da redução do tempo de cultivo, e não apenas baseado no crescimento percentual das hortaliças.

A metodologia e o *setup* desenvolvido ainda é aplicável para o cultivo de outras hortaliças, o que caracteriza outro dos trabalhos futuros deste projeto. Ainda cabe destacar que a metodologia tanto de suplementação, como de avaliação dos resultados não vem sendo desenvolvida e pesquisada para o âmbito de pequenos produtores de hortaliças, o que pode indicar o grande potencial das proposições deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] CARDIA, LUIZ H. B.; MARCIO ROBERTO BERTOLASSI JUNIOR. Influência da Iluminação artificial no cultivo de rabanete. Maringá, 2019.
- [2] SILVA, Alessandro S. da; Aspectos produtivos, qualitativos e fisiológicos do pimentão submetido à aplicação foliar de extrato de *Ascochyllum nodosum* e suplementação luminosa. Piracicaba, 2020.
- [3] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2006 – Agricultura Familiar – Primeiros Resultados – Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009.
- [4] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017 – Agricultura Familiar – Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- [5] TUCCI, Amanda. IODICE, Giuliana. Como a brasileira Pink Farms virou pioneira em fazenda vertical. São Paulo: Forbes, 2020.
- [6] MAIA, Geraldo. Parece um laboratório, mas é uma fazenda vertical. São Paulo: AgroSaber, 2020.
- [7] BARTAZONI, Victor L. ap.1; SILVA, Cheusley G. C.; FELIPE, Alexandre L. da S.; Estufa com fator fotoperíodo. São Paulo, 2017.
- [8] FIENILE, Grupo; Entendo a tecnologia de suplementação luminosa. Triangulo Mineiro, 2020.
- [9] BROTA COMPANY. Entenda como a Brota Company começou sua jornada e hoje está inovando no plantio. Disponível em: <https://brotacompany.com.br/>. Acesso em: 28 abr. 2022.
- [10] GRUPO FIENILE. IRRILUCE irrigando com luz. Disponível em: <https://www.grupofienile.com.br/>. Acesso em: 14 mai. 2022.
- [11] ESPORTE, Globo. Arena do Grêmio reforça iluminação artificial para tratamento do gramado. Porto Alegre, 07/2019.
- [12] GUIMARÃES, Inah de A. B.; Análise e Dimensionamento de Sistema de Iluminação Artificial com LEDs para Suplementação Luminosa no Cultivo de *Humulus lupulus*. Juiz de Fora, 2017.
- [13] TAVARES, Pedro L.; Análise e Projetos de iluminação a LEDS de canais vermelho e azul orientados ao cultivo de Lúpulo (*Humulus Lupulus L.*). Juiz de Fora, 2018.
- [14] BARTAZONI, Victor L. ap.1; SILVA, Cheusley G. C.; FELIPE, Alexandre L. da S.; Estufa com fator fotoperíodo. São Paulo, 2017.
- [15] LIGHTING, Waveform; Converte Lux para PPFD – Calculadora Online. Vancouver, 2022.