

# Aplicação de tabelas de decisão adaptativas em sistemas de controle de crescimento de plantas

L. P. Moreira, *Ms. Student, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*

M. R. Pereira-Barretto, *Prof. Dr., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*

**Abstract** — A automação agrícola tem sido desenvolvida de forma significativa no mundo. Para contribuir com este desenvolvimento, o presente trabalho descreve uma aplicação de abordagens metodológicas de tabelas de tomadas de decisão adaptativas, tendo em vista um uso futuro em sistemas de controle, juntamente com aplicações e integração nos sistemas existentes na área do crescimento de plantas em ambientes controlados.

**Keywords** — TDA, Automação Agrícola, Adaptatividade, Sistemas de Controle.

## I. INTRODUÇÃO

O estudo sistemático do crescimento dinâmico de plantas tem seu modelamento como um desafio real para pesquisadores, dada a interdisciplinaridade dos aspectos levados em consideração para sua elaboração, como o formalismo matemático, o conhecimento sobre botânica e fisiologia, agronomia, engenharia e ciência da computação, a fim de criar possibilidades de operação mais ricas e produtivas[1].

A automação agrícola vem se desenvolvendo significativamente no mundo. É de extrema importância em produção de alta tecnologia, garantindo precisão e confiabilidade. Com o avanço em sistemas de produção agrícolas com alto grau de controle e possibilidade de automação, esta automação a atenção para sua alta produtividade e baixo consumo de recursos, a exemplo da produção de minitubérculos básicos de batata (*Solanum tuberosum*) com técnica de produção sem solo, aeroponia[2].

Nesse sentido, destaca-se que o sistema aeropônico tem necessidade de elevado nível de controle[2]. O processo de crescimento desse sistema elimina influências indesejadas, como a presença do solo, o que permite avaliar o crescimento de uma planta por inteiro, bem como facilita a elaboração de modelos de crescimento dinâmico baseados em observação com condições de parâmetros relevantes altamente controláveis.

O uso de tecnologia de informação (TI) em agricultura de precisão ajuda a dar suporte a decisões complexas, com grande número de dados e variáveis, em aplicações de tecnologia adaptativa, por exemplo, em solução preliminar do problema de identificação de unidades de gerenciamento diferenciado[3], como potencial tecnologia voltada para o campo.

O papel da internet e de seus sistemas correlatos tomam força

com a mudança de relação de comunicação homem-homem e homem-máquina para a relação de comunicação máquina-máquina de forma promissora e revolucionária. Há ainda a tendência da exploração da Internet das Coisas (*Internet of Things IoT*), que favorece uma ampla rede de sensores em combinação para diversas aplicações em sistemas de controle[4]. Isso vem sendo utilizado gradualmente em países como Coreia do Sul em setores simples, como em sistemas de pagamento de varejo até aos mais complexos, como em assistência médica, com grade destaque para aplicações em fazendas inteligentes (*Smart Farm*) com sensoriamento expandido[5].

Este trabalho discute aplicações da tecnologia adaptativa na automação agrícola, com a ferramenta de tabelas de decisão adaptativas em um exemplo de aplicação de controle de manejo preventivo de requeima (*Phytophthora infestans*) em cultivos de batata. Trata-se, portanto de alternativa de substituição de tomada de decisão humana por tomada de decisão adaptativa.

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dentro dos novos ambientes de produção agrícola, destacam-se os ambientes de cultivo protegido com sistemas de controle. Estes buscam maximizar a produção e minimizar o consumo de energia, água e insumos, considerados células de crescimento autônomas de plantas. Trata-se de uma categoria recente chamada de Fábrica de Plantas (*plant factory*), que em seu design e requerimentos de engenharia analisam diversos parâmetros observáveis e controláveis, de alta relevância para o crescimento otimizado das plantas em controle de malha fechada, tratando desde o sistema de irrigação até o de iluminação artificial por LED[6].

Fora de um sistema convencional de produção agrícola, os novos requisitos de engenharia surgem como desafios a serem vencidos e oportunidades para surgimento de sistemas auxiliares de desenvolvimento de iluminação artificial com LED[7]. Isso permite o uso de sistemas inteligentes de visão com análise de imagens para irrigação de precisão e fornecimento de iluminação artificial de precisão[8].

Um exemplo de caso de uso de novos sensores é o que avalia a dinâmica da espessura das folhas de plantas. Ele pode ser utilizado como novo parâmetro de controle para sistemas de irrigação ou aspersão em sistemas aeropônicos, cuja medida fornece informações fisiológicas importantes e confiáveis na aplicação de irrigação de precisão. Isso permite

fornecer às plantas água somente quando elas necessitam, economizando o máximo de água-doce possível[9].

Outra abordagem agrônômica são os chamados sistemas de previsão. São meios alternativos para controle eficiente de doenças, com ações preventivas que visam à redução os custos de produção e de poluição ambiental. Isso é importante para o manejo de doenças limitantes para algumas culturas, como a da batata[10], que podem ser integradas a outros métodos de controle.

Os manejos de soluções nutritivas em sistemas que utilizam fertirrigação, como hidroponia e aeroponia, aparecem como parâmetros controláveis das unidades autônomas de produção. Têm o manejo químico de correção de solução nutritiva de forma manual por produtores analisando a condutividade salina da solução, com possível desequilíbrio nutricional, dando espaço para controles mais elaborados, como de nutrientes individualizados[11].

### III. Tabela de decisão adaptativa

O estudo dos diversos métodos de controle, parâmetros observáveis e variáveis controláveis, exemplos de casos de uso e sugestões para manejos, faz-nos inferir que há falta de formalização de regras de controle para sistemas de crescimento de plantas. Há apenas uma sucessão de pequenas malhas de controles, com um direcionamento desconexo de ações humanas e decisões humanas associadas a controles diversos.

Uma vez definida a escolha por produções em sistemas autônomos inteligentes de crescimentos de plantas, com diversas áreas e parâmetros controláveis, deve-se reduzir as interferências de decisão humana e ações humanas diretas diversas, a fim de tornar as unidades produtivas o mais próximo possível de serem totalmente autônomas com sistemas supervisórios reduzidos a ações emergenciais.

No tocante à tecnologia adaptativa, seu papel é fundamental quanto a interpretação de desejos humanos representados por conjunto de decisões a serem tomadas dado um conjunto de condições base para estabelecer uma sequência naturalmente mutável e com multiplicidade de cenários possíveis e ordenamento.

Dentre várias alternativas possíveis encontradas, uma decisão é a escolha de uma dentre as possíveis seguido critérios preestabelecidos, sendo a decisão um processo intrinsecamente lógico, complexo, dinâmico, de puro raciocínio. Tabelas de decisão figuram como ferramenta importante na solução do cenário conflitante. Permitem encontrar a solução para um problema de decisão, favorecendo efetivamente uma conclusão decisiva. A escolha de uma alternativa implica renúncia das demais possíveis, exigindo um maior número de informações possíveis, a fim de reduzir riscos associados à decisão a depender do nível de complexidade[12].

A tecnologia adaptativa é, dentro da computação, uma área de concentração de estudos relacionados às técnicas adaptativas

que exploram a capacidade de automodificação dos dispositivos. É apresentada como característica principal, com sua estrutura autorreprogramável dinamicamente, bem como seu comportamento, baseado no movimento das ações durante a operação e desenvolvimento[13].

A característica de modificação dinâmica, adaptando-se ao cenário modificado em resposta a estímulos com reações adequadas ao longo de todo processo, confere ao sistema características de recursos de aprendizagem e inteligência.

O dispositivo adaptativo[13], cuja operação é definida por um conjunto finito de regras que se automodificam dinamicamente, é formado por duas camadas: uma conhecida não adaptativa, que representa o núcleo do sistema; e outra adaptativa, externa, que atua sobre o núcleo, modificando-o, conferindo novo conjunto de regras, dada uma ação de interação com meio externo, ocorrendo de forma autônoma em decorrência das ações adaptativas.

Dentre os dispositivos adaptativos disponíveis, a facilidade de definição e emprego de formalismos já conhecidos como os de tabelas de decisão tradicionais, acrescidas de camada adaptativa, gera a Tabela de Decisão Adaptativa, ferramenta poderosa na descrição de problemas complexos, tornando um cenário difuso em formulação de problema em formato sucinto de apresentação, conferindo ao observador um meio de análise claro e objetivo.

Na camada não adaptativa, há uma organização das informações relativas a condições e ações específicas, e um conjunto de regras regendo a interação entre os possíveis cenários, definidos de forma tradicional (Figura 1). Já a camada adaptativa conserva a mesma forma convencional com a adição das ações a serem executadas, com ações antes da regra ser executada (*before action*) e ações tomadas depois da regra aplicada (*after action*) (Figura 2).

		Regras					
		r1	r2	...	rn		
TDC	Condições	c1	T	T		-	
		c2	-	T		T	
		...					
		cm	-	-			-
	Ação	a1	F	T		T	
		a2	F	F		T	
		...					
		ap	F	F		T	

Figura 1. Estrutura de uma tabela de decisão convencional.

		Regras				
		r1	r2	...	rn	
TDC	Condições	c1	T	T		-
		c2	-	T		T
		cm	-	-		-
	Ação	a1	F	T		T
		a2	F	F		T
		ap	F	F		T
CAMADA ADAPTATIVA	Before Action	ba1	F	T		T
		ba2	F	F		T
		baq	F	F		T
	After Action	aa1	F	T		T
		aa2	F	F		T
		ao	F	F		T

Figura 2. Estrutura de uma tabela de decisão convencional acrescida de camada adaptativa.

A estrutura geral de uma Tabela de Decisão Adaptativa pode ser encontrada com pequenas varrições de representação, como visto[14,12], e segue a formulação base[13] como sendo definida pela dupla TDA = (TDC, CA), em que TDC representa a tabela de decisão convencional e CA o mecanismo adaptativo.

A tabela de decisão não adaptativa é composta pelos elementos TDC = (CT, t<sub>0</sub>, R, C, A), em que:

- CT é o conjunto de todas as configurações possíveis da tabela de decisão.
- t<sub>0</sub> ∈ CT e é a configuração inicial da tabela de decisão.
- R é o conjunto de regras de decisão da tabela: R = {r<sub>j</sub>, 1 ≤ j ≤ n}.
- C é o conjunto finito das condições (ou critérios) do problema: C = {C<sub>i</sub>, 1 ≤ i ≤ m}.
- A é o conjunto finito de ações possíveis (ou alternativas) do problema: A = {A<sub>k</sub>, 1 ≤ k ≤ p}.

Cada regra r<sub>j</sub> ∈ R é formada por um conjunto de valores das condições C<sub>i</sub> na regra r<sub>j</sub>, podendo assumir três valores, sendo reles T, F ou -:

- T: corresponde à valor verdadeiro.
- F: corresponde à valor falso.
- -: corresponde à valor indiferente.

O conjunto de valores assinalados para as ações A<sub>k</sub> a serem

executadas na regra r<sub>j</sub>, quando satisfeitas as condições C<sub>i</sub> para ativar a execução das ações A<sub>k</sub>.

O mecanismo adaptativo CA para a TDA é definido pelo conjunto de todas as ações adaptativas.

As ações adaptativas podem ser executadas antes ou depois das regras não adaptativas da tabela, e de acordo com os parâmetros de entrada das funções. Cada ação adaptativa é definida por, pelo menos, uma das ações elementares: consulta às regras da tabela, inclusão de novas regras e exclusão de regras existentes, podendo existir mais de uma ação elementar, também possuindo conjunto de regras como na TDC, mas regras adaptativas RA.

$$RA = \{ra_j, 1 \leq j \leq n\}.$$

Cada regra adaptativa ra<sub>j</sub> é definida por (r<sub>j</sub>, ba<sub>q</sub>, aa<sub>o</sub>), em que r<sub>j</sub> é a regra não adaptativa e:

- ba<sub>q</sub> ∈ RA: se houver, indica ação ou ações adaptativas a serem executadas antes da regra r<sub>j</sub>.
- aa<sub>o</sub> ∈ RA: se houver, indica ação ou ações adaptativas a serem executadas depois da regra r<sub>j</sub>.

A ordem de execução segue a sequência:

1. Regra r<sub>j</sub> é ativada quando as condições impostas na coluna são satisfeitas, isto é, todos os valores dos critérios na coluna r<sub>j</sub> para C<sub>i</sub> conferem com os valores predeterminados na TDC.
2. Nessa situação, se houver, executa-se a ação ou ações adaptativas ba correspondentes válidas (pode provavelmente acarretar mudança do conjunto de regras do dispositivo).
3. Aplica-se a ação ou ações da regra subjacente, executadas como na TDC clássica não adaptativa.
4. Nessa situação, se houver, executa-se a ação ou ações adaptativas aa correspondentes válidas (pode provavelmente acarretar novamente na mudança do conjunto de regras do dispositivo).

IV. Modelo proposto

Um estudo de caso é apresentado neste artigo como uma proposta de uso de TDA para gerenciamento de ações de automação e formalização de regras de controle aplicada ao processo de tomada de decisão. Trata-se de uma forma de substituição da tomada de decisão humana no manejo de controle de patógenos limitantes à cultura de batata, especificamente para requeima, em uma unidade autônoma de produção (*plant factory*) em aeroponia, destacando o papel da TDH no diagrama de processo como visto na Figura 3.

A cultura de batata é afetada por vários fatores que causam queda de produtividade com a requeima. Ocupam papel de destaque preocupante ao produtor as aplicações de fungicida em geral, que são excessivas por serem realizadas de forma empírica, sem levar em consideração condições meteorológicas e do ciclo de vida do patógeno, levando ao seu uso indiscriminado, o que eleva o custo de produção, sem uma devida formalização das regras de controle de patógenos<sup>10</sup>.

Formulamos a questão como um clássico problema de otimização recursos, reduzindo a uma solução de decisão de único critério, que trata de realizar o menor número de aplicações de fungicidas ao longo do ciclo de produção, mantendo controladas as ocorrências de requeima, sem afetar a produtividade, para aplicação e uso futuro em uma instalação real de produção de minitubérculos de batata semente com técnica de Aeroponia, localizado na cidade de Divinolândia (SP).

O ambiente controlado, objeto de futura implementação da proposta apresentada neste trabalho, é constituído de uma casa

de vegetação recoberta por tela antiafídica nas laterais e com filme agrícola no teto; possui também abertura superior para melhor circulação de ar quente e proteção da abertura com tela antiafídica, com estrutura de bancadas elevadas de produção divididas em 8 bancadas de 18 m X 1,5 m, com corredores de 0,80 m entre bancadas, trabalhando com adensamento de plantas de 90 plantas por m<sup>2</sup>, como visto nas Figuras 4 e 5.



Figura 4. Disposição das bancadas com alto adensamento de plantas.

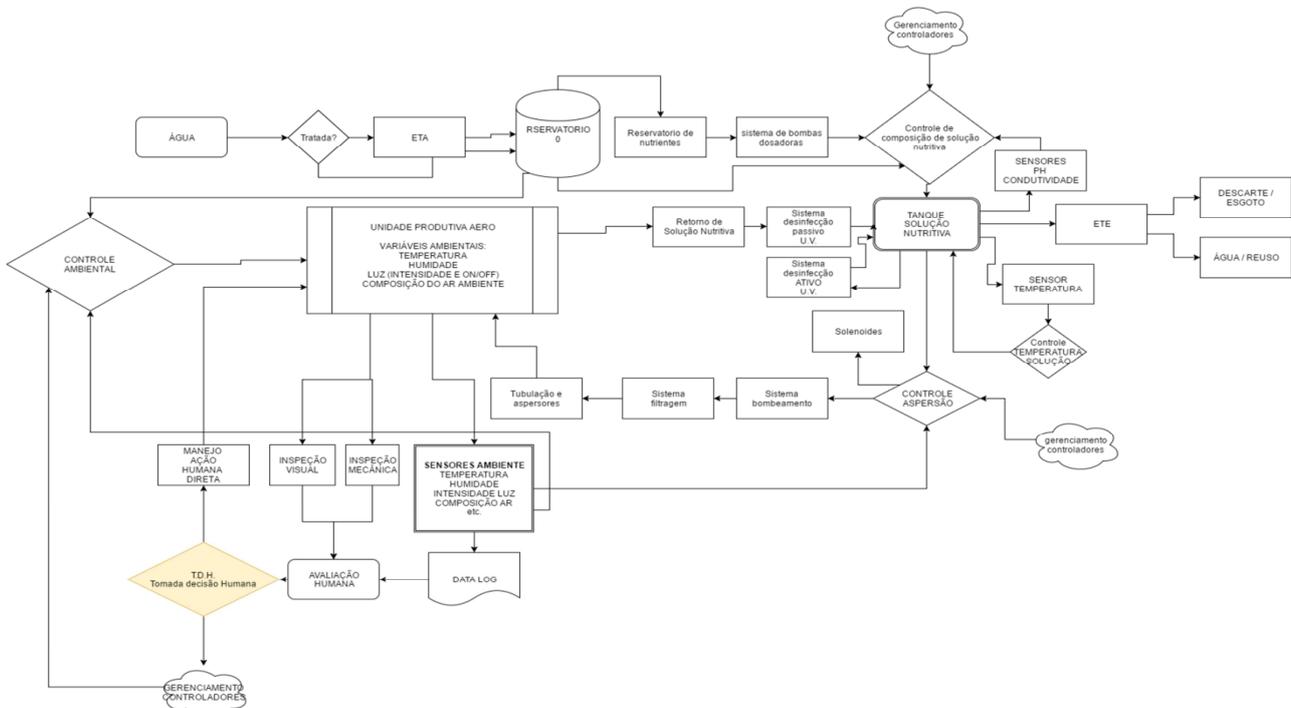


Figura 3. Diagrama de processos de uma unidade autônoma de produção (*plant factory*) em aeroponia.



Figura 5. Casa de vegetação como ambiente controlado.

O alto adensamento de plantas e o ambiente não perfeitamente isolado tornam o ambiente suscetível a contaminações por patógenos, como os causadores da requeima, e são ambientes propícios para alta disseminação e multiplicação, caso manejo não seja feito de maneira correta, interferindo drasticamente na produtividade.



Figura 6 Exemplo de alta produtividade por área, resultado da tecnologia de produção empregada e alto adensamento.

O manejo atualmente é realizado manualmente com bomba costal de 20 L de forma empírica, seguindo recomendações de fabricantes e orientações do agrônomo responsável técnico de forma preventiva, com alto custo de produção envolvido, sendo ótima oportunidade para automatização de processo de manejo.



Figura 7. Exemplo de manejo de aplicação de fungicida convencional.

Os critérios escolhidos, comparando a escolha de método de sistema de previsão entre os sistemas Blitecast e Prophyl, são resultados vistos em alguns trabalhos[10], que utilizam as indicações de sensoriamento e registro de valores de severidade diários, descrevendo a TDA para decidir sobre a ação de manejo de acordo com o melhor desempenho de cada método, além das ações emergenciais envolvidas e que alteram a dinâmica.

Os fungicidas a serem utilizados para controle da requeima são mancozebe (Dithane NT – 3,0 kg ha<sup>-1</sup> do produto comercial), oxicloreto de cobre (Cuprogarb 350 – 4g L<sup>-1</sup> de água do produto comercial), piraclostrobina + metiram (Cabrio Top – 3,0 kg ha<sup>-1</sup> do produto comercial), conforme recomendação do ministério da agricultura[15], aplicado em concentração 50% menor indicado para aeroponia, com aplicações alternadas combinadas (Dithane NT e Cuprogarb) com ação de contato e (Cabrio TOP) com ação sistêmica[10].

Optou-se pela montagem da TDA como processo de escolha entre os resultados de métodos de previsão de requeima mais satisfatórios encontrados[10], MBLI24 e MPRO25, com a informação adicional de eventos emergenciais, em cenário de combinação otimizada entre os resultados dos métodos. Nesse sentido, a proposta para o processo decisório segue descrita a seguir:

- i. Realizar a leitura dos sensores para obtenção dos valores de severidade acumulados por dia.
- ii. Realizar inspeção de campo (local ou remotamente por imagem) para verificar ocorrência de infestação emergencial.
- iii. Verificar falha no isolamento da unidade de produção protegida.
- iv. Verificar a contagem de dias após transplante (DAT) como contagem do tempo de ciclo de desenvolvimento da planta.
- v. Levantar os requisitos de cada critério para execução das ações não adaptativas.
- vi. Levantar os requisitos de cada combinação de ações para execução das ações adaptativas e mudanças no conjunto de regras do dispositivo.
- vii. Criar regras que são solução do problema e que continuem sendo após mudanças em seu conjunto após ação adaptativa.
- viii. Criar a TDC.
- ix. Criar a camada CA.
- x. Mostrar a dinâmica adaptativa de funcionamento em dois passos.

A TDA do modelo proposto segue na Figura 8, em sua condição  $t_0$ , sem necessidade verificada de ações adaptativas a serem executadas depois da regra  $r_j$ .

			Regras				
			r1	r2	r3	r4	
TDC	Condições	c1	VS > 24	-	T	-	-
		c2	DAT > 10	T	-	-	-
		c3	Infestação emergencial?	F	F	T	F
		c4	Falha no isolamento?	F	F	F	T
	Ação	a1	Manejo Fungicida A	F	F	T	T
		a2	Manejo Fungicida B	T	T	F	F
CAMADA ADAPTATIVA	Before Action	ba1	Ação de choque inicial	T	T	T	T
		ba2	Ação preventiva intermediária	F	T	T	T
		ba3	Ação preventiva final	F	F	F	F

Figura 8 TDA em t<sub>0</sub>.

As condições da TDC são:

- C1: Valor de severidade VS > 24, respeitando a metodologia para estágio inicial/intermediário MBLI24.
- C2: Valor de dias após o transplante DAT > 10.
- C3: Existência de infestação por patógeno encontrada.
- C4: Existência de falha no isolamento verificada.

Nas condições iniciais, DAT = 0, VS = 0, sem infestações emergenciais e sem falhas no isolamento. Imediatamente após o transplante, inicia-se a contagem de tempo e de VS, e as observações de falhas de isolamento e infestações emergenciais por patógenos.

As ações são:

- A1: Manejo com a utilização de fungicida de ação de contato (Dithane NT e Cuprocarb).
- A2: Manejo com a utilização de fungicida de ação sistêmica (Cabrio TOP).

A camada adaptativa é composta somente por ações a serem realizadas antes da regra r<sub>j</sub>, sendo elas:

- Ba1: Ação de choque inicial altera as condições eliminando a componente inicial da lista de condições e suprimindo a regra correspondente, inclusive ela mesma.
- Ba2: Ação preventiva intermediária altera as condições para uma contagem de tempo intermediária e zera VS, altera os valores das ações adaptativas restantes.
- Ba3: Ação preventiva final altera as condições para uma contagem de tempo final do ciclo, suprime condições intermediárias, cria nova ação adaptativa de fim de ciclo.

Passo 1, ativadas as regras r<sub>1</sub> ou r<sub>2</sub>, a TDA caminha para t<sub>1</sub>, como visto na Figura 9.

			Regras				
			r1	r2	r3	r4	
TDC	Condições	c1	VS > 24	-	T	-	-
		c2	DAT > 65	T	-	-	-
		c3	Infestação emergencial?	-	F	T	F
		c4	Falha no isolamento?	-	F	F	T
	Ação	a1	Manejo Fungicida A	F	T	F	F
		a2	Manejo Fungicida B	F	F	T	T
CAMADA ADAPTATIVA	Before Action	ba2	Ação preventiva intermediária	F	T	T	T
		ba3	Ação preventiva final	T	F	F	F

Figura 9 TDA em t<sub>1</sub>

Passo 1', ativadas as regras r<sub>3</sub> ou r<sub>4</sub>, a TDA caminha para t<sub>1</sub>', como visto na Figura 10.

			Regras				
			r1	r2	r3	r4	
TDC	Condições	c1	VS > 24	-	T	-	-
		c2	DAT > 65	T	-	-	-
		c3	Infestação emergencial?	-	F	T	F
		c4	Falha no isolamento?	-	F	F	T
	Ação	a1	Manejo Fungicida A	F	F	T	T
		a2	Manejo Fungicida B	F	T	F	F
CAMADA ADAPTATIVA	Before Action	ba2	Ação preventiva intermediária	F	T	T	T
		ba3	Ação preventiva final	T	F	F	F

Figura 10. TDA em t<sub>1</sub>'

Para os passos intermediários, as ações são executadas quando satisfeitas as condições para cada regra, mantendo os manejos, alternando entre com a ação adaptativa modificando a1 e a2 de forma alternada, a exemplo do que seria o Passo 2, como mostrado na Figura 11.

			Regras				
			r1	r2	r3	r4	
TDC	Condições	c1	VS > 24	-	T	-	-
		c2	DAT > 65	T	-	-	-
		c3	Infestação emergencial?	-	F	T	F
		c4	Falha no isolamento?	-	F	F	T
	Ação	a1	Manejo Fungicida A	F	F	T	T
		a2	Manejo Fungicida B	F	T	F	F
CAMADA ADAPTATIVA	Before Action	ba2	Ação preventiva intermediária	F	T	T	T
		ba3	Ação preventiva final	T	F	F	F

Figura 11. TDA em t<sub>2</sub>.

Para o passo final e última modificação autônoma realizada pelo mecanismo, satisfeita a condição para ação ba3, ficamos com a condição final da TDA até o último DAT culminando na colheita, conforme visto na Figura 12.

			Regras		
			r1	r2	
TDC	Condições	c1	VS > 25	T	-
		c2	DAT = 90	F	T
	Ação	a1	Manejo Fungicida A	F	F
		a2	Manejo Fungicida B	F	F
CAMADA ADAPTATIVA	Before Action	ba3	Ação preventiva final	T	F
		ba4	Ação de fim de ciclo	F	T

Figura 12. TDA em configuração final, aguardando ativação da última ação adaptativa.

Ao fim do passo final, é ativada a última ação adaptativa, que declara encerrada as atividades do ciclo e determina que nenhuma ação mais seja tomada até que um novo ciclo passe a existir.

## V. CONCLUSÃO

Foi apresentada uma proposta de controle adaptativo que permite que a estrutura de controle fique bem caracterizada, tornando fácil sua manutenção. Ou seja, trata-se de proposta prática de implementação na instalação de produção de minitubérculos de batata semente com técnica de aeroponia. Tal aplicação foi feita na cidade de Divinolândia (SP) e visava

ao controle de patógenos de forma automatizada em substituição ao sistema de aplicação convencional empírico.

A montagem do sistema de controle de forma estruturada, com aplicação do conhecimento em prática de alternar métodos de controle preventivo de manejo de combate à requeima da batata em seus momentos ótimos de atuação ao longo do ciclo, associada às ações emergenciais, em uma abordagem direcionada em uma linguagem específica ao especialista, colaboram para uma aplicação real em sistema de controle.

Um complemento ao sistema de controle existente, reduzindo a necessidade de tomada de decisão humana, em nível mais elevado substituindo a ação humana por sistema de barra de aspersão automatizada, permite aumentar os níveis de automação, caminhando para melhorar a condição de autonomia da unidade de produção.

A ferramenta adaptativa pode ser explorada aumentando seu nível de complexidade tanto quanto for necessário, sem deixar de ser clara e objetiva, sendo considerada uma ferramenta poderosa em todo o processo.

Como trabalhos futuros, tem-se o comprometimento em dar continuidade, explorando a aplicação em campo do projeto proposto, garantindo publicações futuras buscando excelência na aplicação em casos reais de tecnologias adaptativas em controle de crescimento de plantas em ambiente protegido, explorando ao máximo as possibilidades das unidades da categoria recente chamada de Fábrica de Plantas (*plant factory*).

## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] REFFYE, P. DE., B. G. HU. Relevant Qualitative and Quantitative choices for building an efficient dynamic plant growth model: Greenlab Case. International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and their Applications. PMA'03, 2003, pp. pp.87-107.
- [2] FACTOR, T. L., J. A. C. ARAUJO, F.P.C KAWAKAMI, V. IUNCK. Produção de minitubérculos básicos de batata em três sistemas hidropônicos. Hort. Bras. jan-mar, 2007.
- [3] FABIANA S. SANTANA, ANTONIO M. SARAIVA, RENATA L. STANGE. Oportunidades de Aplicação das Tecnologias Adaptativas para a Modelagem em Agricultura de Precisão. 5º Workshop de Tecnologia Adaptativa WTA2011. 2011.
- [4] M.U. FAROOQ, MUHAMMAD WASEEM, SADIA MAZHAR, ANJUM KHAIRI, TALHA KAMAL. A Review on Internet of Things (IoT). International Journal of Computer Applications. March de 2015, Vol. 113, Nº 1.
- [5] YOUNG-MO KANG, MI-RAN HAN, KYEONG-SEOK HAN, JONG-BAE KIM. A Study on the Internet of Things (IoT) Applications. International Journal of Software Engineering and Its Applications. N.9, 2015, Vol. vol.9, pp. pp. 117-126.
- [6] IOANNIS TSITSIMPELIS, IAN WOLFENDEN, C. JAMES TAYLOR. Development of a grow-cell test facility for research into sustainable controlled-environment agriculture. biosystems engineering. 150, 2016, pp. pp. 40-53.
- [7] CAMILA C. ALMEIDA, PEDRO. S. ALMEIDA, NICOLAS R. C. MONTEIRO, MILENA F. PINTO AND HENRIQUE A. C. BRAGA. LED-Based Electronic System to Support Plant Physiology Experiments. IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). 23, 2014.
- [8] MURASE, YUSUF HENDRAWAN. DIMAS FIRMANDA AL RIZA. HARUHIKO. Applications of Intelligent Machine Vision in Plant Factory.

Proceedings of the 19<sup>th</sup> World Congress The International Federation of Automatic Control. 24-29 de August de 2014, pp. pp.8122-8127.

[9] SEELING, H.D, STONER, R.J. & LINDEN, J.C. Irrigation control of cowpea plants using the measurement of leaf thickness under greenhouse conditions. Irri. Sci. DOI 10.007/s00271-011-0268-2, 2011.

[10] LEOSANE CRISTINA BOSCO, ARNO BERNARDO HELDWEIN, ELENA BLUME, GUSTAVO TRENTIN, EDENIR LUIS GRIMM, DIONÉIA DAIANE PITOL LUCAS, LUIS HENRIQUE LOOSE, SIDINEI ZWICK RADONS. SISTEMAS DE PREVISÃO DE REQUEIMA EM CULTIVOS DE BATATA EM SANTA MARIA, RS. Bragantia,Campinas. n. 3, 2010, Vol. v. 69, pp. p.649-660.

[11] SALVADOR, CONAM AYADE. Desenvolvimento e avaliação de um sistema de controle de nitrato em soluções nutritivas. Tese de Doutorado. 2014.

[12] TCHEMRA, ANGELA. Aplicação de Tecnologia adaptativa em sistemas de tomada de decisão. Revista IEEE América Latina. 2007, Vol. Vol. 5, Num. 7.

[13] NETO, JOÃO JOSÉ. Adaptive rule-driven devices - general formulation and case study. Watson, B.W. and Wood, D. (Eds.): Implementation and Application of Automata 6th International Conference, CIAA 2001. CIAA 2001, 23-25 de July de 2001, Vol. Vol.2494, pp. pp. 234-250.

[14] A. H. TCHEMRA, R. CAMARGO. Tabela de decisão adaptativa, simulação de um autômato adaptativo. In: Segundo Workshop de Tecnologia Adaptativa - WTA 2008. 2008.

[15] Coordenação-Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/DAS. MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 10 set. 2016.



**Lucas Pladevall Moreira** é graduado em Engenharia Mecatrônica (2011) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI-USP), mestrando em Engenharia Mecânica pelo PPGEM da POLI-USP. É empresário de agronegócio atuando em culturas através de tecnologia de produção em aeroponia. Atua nas seguintes áreas de pesquisa: desenvolvimento de sensor agrícola, sistemas de controle para crescimento de plantas em ambiente protegido, sistemas de automação processos de produção agrícola.



**Marcos Ribeiro Pereira-Barretto** é graduado em Engenharia Elétrica (1983), mestre em Engenharia Elétrica (1988) e doutor em Engenharia Mecânica (1993) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI-USP). É professor da POLI-USP desde 1986. Atua nas seguintes áreas de pesquisa: robôs sociáveis, computação afetiva e arquitetura de sistemas para aplicações críticas como Automação Industrial.