

Prof. Marco Pádua

CONCRETO Produção e aplicação

O uso do concreto nas construções em geral divide-se em mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura.

MISTURA

Conhecido também como amassamento do concreto tem por objetivo mesclar os materiais componentes de modo a obter-se uma mistura homogênea em forma de pasta de cimento sobre as partículas dos agregados, tendo como resultado o concreto.

() A falta de homogeneidade da mistura resulta na diminuição da resistência mecânica e da durabilidade dos concretos.

A mistura poderá ser manual ou mecanizada.

() O amassamento manual, conforme a NB-1/77, item 12.3, é permitido somente em obras de pequena importância e quando o volume e a responsabilidade do concreto não justificarem o emprego de equipamento mecânico.

() No amassamento manual a sequência de operações é a seguinte:

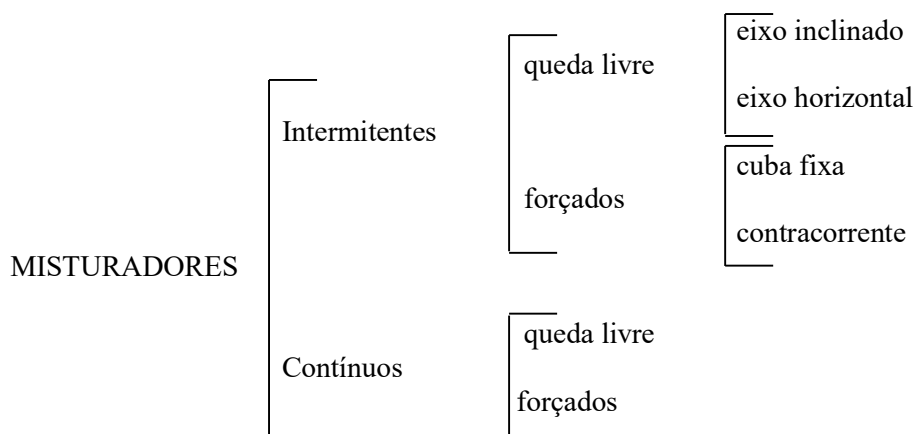
- Mistura-se a seco agregado miúdo e cimento, de maneira a obter-se uma coloração uniforme;
- a seguir, o agregado graúdo é adicionado e misturado até obter-se uma mistura homogênea quando então, o material deve ser afastado de maneira a produzir um espaço vago no centro, semelhante a um vulcão;
- em seguida a água é adicionada aos poucos e a mistura continua até que toda ela seja adicionada conforme a necessidade.

Obtendo-se a trabalhabilidade desejada o processo de transporte e lançamento pode ser iniciado.

A mistura manual deve ser realizada sobre um estrado ou superfície plana, impermeável e resistente, fechado com tábuas em forma de caixa para que não haja perda de material. () Por este processo não é permitido um amassamento com volume de concreto superior a 350 litros.

A mistura mecânica é feita em máquinas especiais denominadas betoneiras. São constituídas essencialmente por um tambor ou cuba, fixa ou móvel em torno de um eixo central. Por meio de pás, que podem ser fixas ou móveis, as misturas são produzidas.

Classificam-se as betoneiras de acordo com o seguinte esquema:



() A distinção entre intermitentes e contínuos está no fato de não ser necessário interromper o funcionamento da máquina, para carregá-la.

Tanto as betoneiras intermitentes como as contínuas subdividem-se em queda livre ou forçada. () As de queda livre caracterizam-se pelas pás solidárias à cuba, móvel em torno de um eixo. As intermitentes se apresentam com eixo inclinado ou horizontal. As de queda livre também são conhecidas por betoneiras de gravidade, cujo efeito auxilia na execução da mistura.

() As betoneiras forçadas, geralmente, possuem cuba fixa e pás móveis, havendo casos em que a cuba gira em sentido oposto ao das pás.

a) Betoneiras intermitentes de queda livre - São três os diferenciais para esses misturadores:

- capacidade da cuba;
- capacidade de mistura;
- capacidade de produção.

O primeiro refere-se ao volume total da cuba; o segundo representa o volume de carregamento dos materiais isoladamente antes da mistura; a terceira se relaciona ao volume de concreto fresco produzido por betonada. Os misturadores intermitentes de gravidade podem ser caracterizados pela relação:

$$\frac{\text{capacidade de mistura}}{\text{capacidade da cuba}}$$

Essa relação varia de 0,6 a 0,75 para as betoneiras de eixo inclinado, baixando a 0,35 até 0,40 para as de eixo horizontal. A norma DIN 459 classifica essas máquinas pela capacidade de mistura contrariamente a tendência em normalizá-las pela capacidade de produção. A relação entre capacidade de produção e mistura é função do tipo de material, variando entre 0,5 e 0,8, indicando-se 0,7 como valor médio. () Para adquirir uma betoneira intermitente de queda livre, interessa conhecer a capacidade de mistura, a fim de ser possível conhecer as quantidades de material que podem ser carregadas. Relacionam-se, em geral, estas quantidades ao saco de cimento e diz-se que a betoneira pode carregar um, dois, etc. sacos. Para calcular o rendimento da betoneira e o número de betonadas necessárias à execução de uma determinada parte da estrutura, utiliza-se, então, a capacidade de produção. () É nos traços mais pobres que vemos sua limitação, sendo conveniente usar em cada betonada, um número inteiro de sacos, pois determinar sua fração é trabalhoso e medir o aglomerante em volume, não é aconselhável.

O quadro abaixo dá algumas indicações úteis:

CAPACIDADE DA BETONEIRA		CONSUMO MÍNIMO DE CIMENTO Kg/m ³ (usando saco inteiros)
De mistura (l)	(l) de produção	
300	210	250
250	180	300
210	150	350

As betoneiras de eixo inclinado ou basculante têm uma única abertura, tanto para carga como para descarga, variando sua inclinação conforme o necessário. O ângulo formado pelo eixo com a horizontal varia de 15° a 20°.

() As betoneiras de eixo horizontal são carregadas por um lado e descarregadas pelo outro, sendo indicadas para volumes superiores a 500 l de carga.

A velocidade dessas máquinas é um fator importante por ocasião da compra. () As basculantes têm velocidade da ordem de 30 rotações/minuto, ao passo que, nas de eixo horizontal, 15 rotações/ minuto.

Fica evidente que a velocidade depende das dimensões da betoneira, considerando uma motorização equivalente. As pequenas devem ter velocidades maiores, pois possuem diâmetro menor para o tambor.

() Velocidade menor que as aconselhadas reduzem a resistência dos concretos, ao passo que maiores não permitem uma boa mistura.

De acordo com a experiência do L.B.T.P. de Paris, a velocidade da betoneira está ligada a seu diâmetro através da relação $DN^2 = 350$ a 450, sendo D dado em metros e N em rotações por minuto.

b) Betoneiras intermitentes forçadas – () Existem dois tipos de betoneiras intermitentes forçadas: o de cuba fixa e o de cuba móvel; em ambos, a massa é revolvida pelo movimento das pás em seu interior. No caso da cuba móvel, esta se desloca em sentido contrário ao das pás (betoneiras de contracorrente).

() Para que haja uma mistura mais homogênea o equipamento promove um maior deslocamento dentro do misturador devido ao conjunto de pás excêntricas, descrevendo círculos de raios diferentes.

Os misturadores forçados intermitentes demandam um consumo maior de materiais na sua fabricação, diferentemente ao do tipo por gravidade. Consequentemente seu preço é mais elevado e, ainda, sujeito a um desgaste um pouco maior.

Este misturador produz um concreto muito homogêneo, sendo fácil de carregar e descarregar.

Nestes misturadores é verificada a seguinte relação:

$$\frac{\text{capacidade de mistura}}{\text{capacidade da cuba}} = 0,35 \text{ a } 0,4 \text{ e } DN^2 = 200 \text{ a } 250$$

c) Betoneiras contínuas de queda livre - Elas têm uso muito limitado devido aos defeitos que apresentam frequentemente. Consiste em um misturador contínuo de queda livre montado em um tubo cilíndrico fixo, levemente inclinado sobre a horizontal. Provido de pás orientadas de maneira a produzir um efeito de rosca sem fim ao conjunto, conduzem o material carregado na parte superior até a inferior, já misturado. O tempo de mistura é igual ao tempo de passagem do material no seu interior. Seu rendimento está relacionado ao diâmetro do tambor, pois o número de rotações é limitado. Para que haja uma mistura homogênea é necessário um maior comprimento para o tubo de passagem.

d) Betoneiras contínuas forçadas – () São considerados mais modernos por serem constituídos por uma cuba alongada, fixa e inclinada, onde em seu interior giram as pás presas a uma rosca sem-fim, a qual impulsionam a carga feita pela parte de baixo. O concreto misturado sai pela parte superior. Apesar da rapidez do processo o resultado é uma mistura homogênea. () Este sistema é indicado quando se faz necessário o uso de uma correia transportadora ou bomba, assim como na produção de grande volume de concreto. Fica evidente que este sistema exige um número maior de operários na alimentação da betoneira como também no transporte e lançamento do concreto.

Se isto não ocorrer, como acontece em obras de pequeno porte, essas vantagens serão desperdiçadas, com interrupções frequentes da máquina e conseqüente heterogeneidade da mistura.

() As principais vantagens são:

- Rapidez da mistura;
- possibilidade de despejar o concreto diretamente em fundações, eliminando o transporte.

Como desvantagens, temos:

- Limitação dos traços empregados, quer nas dosagens de cimento quer na proporção entre agregados fino e grosso, importante quando se passa do seixo rolado à pedra britada;
- variação da umidade devido ao processo de dosagem em volume, proveniente do agregado miúdo e conseqüente inchamento;
- difícil controle da quantidade de água (NB-1/77, item 12.2, alínea c) em volumes abaixo dos 3%, após descontados a umidade dos agregados.

Tempo de mistura - É contado a partir do instante em que todos os materiais tenham sido lançados na cuba. Depende do tipo de concreto e do tipo de betoneira. Para os concretos plásticos, que envolvem praticamente todos os tipos de concreto empregados, a NB-1/77 estabelece os seguintes valores, abaixo dos quais a mistura é imperfeita e acima de tudo é antieconômica:

- () Para betoneiras inclinadas - t (segundos) = $120 d$ (m)
- para betoneiras eixo horizontal - $t = 60 d$;
- para betoneiras eixo vertical - $t = 30 d$;

sendo d o diâmetro máximo da misturadora.

() A ordem mais aconselhável de colocação de materiais nas betoneiras é:

- 1º) Parte do agregado graúdo mais parte da água de amassamento;
- 2º) cimento mais o restante da água e a areia;
- 3º) restante do agregado graúdo.

TRANSPORTE

O concreto deve ser transportado do local de amassamento para o de lançamento tão rapidamente quanto possível e de maneira tal que mantenha sua homogeneidade, evitando-se a segregação dos materiais (NB-1/7, item 13.1).

() Esse transporte poderá ser na direção horizontal, vertical ou oblíqua, sendo que na horizontal, utilizam-se vagonetes e carrinhos, preferencialmente providos de rodas pneumáticas; na direção vertical, caçambas e guinchos; na oblíqua, correias transportadoras e calhas.

Finalizando, o transporte horizontal ou vertical, também poderá ser realizado por meio de bombas, recalcando o concreto através de canalizações. () O diâmetro interno do tubo deverá ter, no mínimo, três vezes o diâmetro máximo do agregado (NB-1/77, item 13.1).

Esses meios de transporte podem ser classificados em descontínuos e contínuos.

() Para o transporte descontínuo serão empregados vagonetes, carrinhos de mão, caçambas e caminhões, sendo que o ideal será que esses elementos tenham capacidade para uma massada completa, evitando sua segregação que ocorreria com a divisão de uma betonada em várias frações.

Seja qual for o sistema, as ações de carga e descarga deverão ser facilitadas a fim de evitar o depósito intermediário. Para o transporte de longa distância efetuado por caminhões, faz-se necessário o uso de agitação para evitar a segregação. Nesta situação o transporte sem agitadores deverá ser substituído por algum sistema que gere uma estanqueidade aérea, impedindo a entrada ou saída do ar, suficiente para impedir a segregação do concreto.

Os principais transportadores contínuos são: calhas, correias transportadoras e bombas.

() As calhas são canaletas de madeira revestidas de chapa com ângulo de inclinação mínimo de 13°, por onde desliza o concreto que deve ter consistência fluida, o que lhe restringe a aplicação. Deve-se tomar cuidado para que o transporte seja o mais contínuo possível, provendo-se a extremidade da calha de dispositivos que assegurem um concreto homogêneo, sem segregação. Uma dosagem cuidadosa poderá favorecer tal meio de transporte.

Quando o sol é forte, deve-se proteger o concreto das calhas contra uma secagem excessiva por meio de uma cobertura. Se o trabalho desejar um concreto menos úmido, a correia transportadora será o meio de transporte mais adequado. Esta pode ser usada no sentido horizontal ou levemente inclinada. Assim como no caso das calhas, o concreto deve ser protegido contra a secagem excessiva.

() O transporte por bomba é utilizado dentro de um raio de ação definido pela fórmula $H + D = 300$ m, onde H é a altura de elevação limitada a 35 m e D a distância horizontal. A cada curva existente neste intervalo de bombeamento, acarretará numa redução de 10 m na distância total empregada.

() O concreto bombeado deve ter consistência plástica e, para facilitar o transporte, fazer uso do seixo rolado como agregado graúdo ou empregar um aditivo que melhore a trabalhabilidade.

A corrente de concreto na tubulação deve ser a mais contínua possível. A limpeza cuidadosa da tubulação após a utilização também é importante.

LANÇAMENTO

() O concreto deve ser lançado logo após a mistura, não sendo permitido, entre o amassamento e o lançamento, intervalo superior a uma hora. Não é admissível o uso de concreto remisturado. Para os lançamentos em recintos sujeitos à penetração de águas, estes deverão ter as precauções necessárias para que não haja inundação capaz de comprometer o serviço. Antes do lançamento do concreto, as formas devem ser molhadas abundantemente, a fim de que elas não absorvam a água de amassamento. Estas também deverão ser estanques, para não permitir a fuga da nata de cimento.

Ao lançar o concreto de grande altura ou deixá-lo correr livremente, haverá tendência à separação entre a argamassa e o agregado graúdo. () Para evitar a separação e incrustação da argamassa nas formas e armaduras, o concreto, em peças muito delgadas, tais como paredes, deve ser colocado através de canaletas de borracha ou tubos flexíveis, conhecidos por trombas de elefante.

Caso delicado é o lançamento de concreto submerso, isto é, a concretagem sob a água. Esse concreto nunca resulta tão uniforme como o colocado ao ar livre, e sempre é lançado em grandes massas, pois o sistema não se presta a seções delgadas. () Não se deve lançar concreto submerso toda vez que a velocidade da água supere 2 m/s nem em temperaturas inferiores a 5°C. O consumo mínimo de cimento é de 350 kg/m³ e sua consistência, plástica, a fim de que não seja necessário manuseá-lo após o lançamento. Este deve ser contínuo, através de uma tubulação sempre cheia de concreto. A ponta da tubulação é colocada dentro do concreto já lançado, a fim de tornar mínimo o contato com a água. A altura de lançamento em concretagens comuns não deve ultrapassar 2 m. Quando for necessário lançar o concreto de altura superior, este deve ser lançado por janela, abertas na parte lateral, que serão fechadas à medida que a concretagem avança. Este lançamento deve ser puntual, não devendo fluir dentro das formas. As camadas de lançamento devem ter altura igual a, aproximadamente, $\frac{3}{4}$ da altura do vibrador.

Plano de concretagem: Juntas - Nas grandes estruturas, o lançamento do concreto é feito de acordo com um plano, que será organizado tendo em vista o projeto do escoramento e as deformações que nele serão provocado pelo peso próprio do concreto fresco e pelas eventuais cargas de serviço. Para limitar ou prevenir as tensões desenvolvidas pelas variações sofridas, as estruturas de concreto são providas de juntas. Além dessas juntas originárias das prováveis deformações possíveis de afetar a estrutura, ainda podem ser feitas outras, em função da interrupção do trabalho de execução, de acordo com o cronograma de obra.

() Existem dois tipos de juntas. São elas:

- Juntas de dilatação, cuja finalidade é permitir as deformações da estrutura (juntas permanentes);
- juntas de construção, feitas de acordo com as interrupções da execução (juntas de concretagem).

() As juntas permanentes são feitas para permitir deformações provenientes de: retrações, expansões e contrações devidas a variações de umidade e temperatura, bem como escorregamentos e empenamentos devidos às mesmas causas. No caso de construções destinadas a conter água, essas juntas devem impedir vazamentos e a suportar pressões internas. As juntas podem ser completas, isto é, as duas partes adjacentes da estrutura totalmente separadas e muitas vezes pintadas com material betuminoso ou parciais, enfraquecendo a seção de maneira a forçar o aparecimento de fissuras nessa região. Neste último caso, a armadura é contínua, o que faz com que a junta permita apenas pequenos movimentos. Podem ser adotadas também, juntas plásticas de vedação que, além de não dificultar a movimentação, dá-lhe continuidade. As juntas puramente de construção não são aptas a eliminar os riscos provenientes das deformações, sejam quais forem as causas.

() É aconselhável organizar o programa de execução de tal modo que a interrupção da concretagem se dê numa junta permanente, aproveitando-a assim também como junta de construção. É frequente um maior número de juntas de concretagem para evitar as de dilatação, por razões diversas durante a obra. Se o concreto tiver que ser lançado em camadas sucessivas, a interrupção entre duas camadas dá origem a uma junta de concretagem horizontal.

() Quando a junta de construção não pode ser evitada ou substituída por junta efetiva, devem ser tomados os cuidados recomendados, não só pelo Bureau of Reclamation dos E.U.A., como pelas normas DIN 1.045, parte A:

- A superfície do concreto antigo deve estar rugosa, podendo se usado para isto, escova de aço, jato de areia ou jato de água (se concreto novo), de tal maneira que o agregado graúdo fique exposto. Para a continuidade da concretagem, a rugosidade da superfície de acabamento deverá manter-se rugosa;
- a superfície deve ser perfeitamente limpa, isentas de pó ou qualquer material solto, podendo ser usado jato de água ou ar comprimido, se necessário;
- se não for utilizado jato de água, a superfície deve ser molhada abundantemente;
- logo em seguida é lançado o concreto, misturando ambas as camadas no adensamento, se for concreto novo.

A retração do concreto lançado pode ser evitada deixando-se uma junta de concretagem por um tempo suficiente para que isto ocorra e, aí sim, o trabalho poderá ser completado.

Neste caso, a estrutura deve ser protegida das variações de temperatura. Isto só será possível quando não houver problemas de recalques, pois para esta situação, a junta é ineficiente.

ADENSAMENTO

() Esta operação tem por objetivo acomodar as partículas de maneira a preencher todo o espaço das formas uniformemente, eliminando por completo o ar contido na mistura. () Os processos de adensamento podem ser manuais, conhecidos como socamento ou apiloamento, e mecânicos por meio de vibrações ou centrifugação, além de outros tipos como especiais como a concretagem a vácuo.

() O adensamento manual é o modo mais simples utilizado para acomodar o concreto na forma e entre as armaduras, mediante uma barra metálica, cilíndrica e fina, ou por meio de soquetes mais pesado sobre um concreto, preferencialmente plástico.

No caso da barra, esta deve atravessar a camada de concreto e penetrar parcialmente na inferior. Quando se utilizam soquetes, sua eficiência está num maior número de golpes do que na energia de cada um, desde que seja respeitado um valor determinado.

() No adensamento manual as camadas não deverão exceder a 20 cm e $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha, quando for empregado os vibradores de imersão. (NB-1/77, item 13.2.2).

() A vibração aplicada diretamente à armadura tem sérios inconvenientes pois, poderá gerar um espaço vazio ao seu redor, eliminando assim a aderência. As peças pré-fabricadas em usina próprias passam por esta operação utilizando-se um equipamento conhecido como mesa vibratória.

Fabricam-se, assim, peças ornamentais, blocos, telhas, postes, dormentes, etc. A centrifugação é particularmente interessante no caso de fabricação de elementos de revolução pré-fabricados: postes, tubos, etc.

Este processo é caracterizado pela separação das partículas da mistura conforme seu diâmetro. Assim os elementos mais graúdos são lançados para a parte exterior da peça, ficando no interior uma alta concentração de pasta de cimento. No caso de tubos, isto não apresenta inconveniente, pois fica assegurada uma alta impermeabilidade e uma superfície interior com pouca rugosidade. As formas são metálicas e giram com velocidade reduzida durante o carregamento, aí estando cheia, esta é aumentada entre 12 e 24 m/s. O tempo de centrifugação varia com o tamanho da peça; em geral, vai de 2 a 10 minutos. Qualquer excesso de tratamento pode prejudicar o produto final pela separação excessiva dos seus componentes.

() Conforme sua aplicação distingue-se 3 tipos de vibradores: de imersão ou internos, de superfície e externos ou de formas, podendo ser elétricos, com motor de explosão, a ar comprimido e eletromagnético.

A característica principal de um vibrador é frequência, amplitude e potência.

Quanto à frequência, os vibradores podem ser:

- de baixa frequência: 1.500 vibr./min
- de média frequência: 3.000 - 6.000 vibr./min
- de alta frequência: 6.000 - 20.000 vibr./min

Cada partícula que compõe a mistura tem uma frequência específica de vibração, isto é, ela vibra em ressonância com a fonte vibratória. A baixa frequência põe em movimento os grãos maiores do agregado graúdo e a alta frequência, vibra a argamassa. A vibração de baixa frequência exige maior potência, pois movimentam os grãos maiores do agregado graúdo, de maior massa. Os vibradores de argamassa são, sob este aspecto, mais econômicos. A argamassa, quando em vibração, atua como um lubrificante entre os agregados graúdos, facilitando sua acomodação.

Raio de ação de um vibrador: é a distância além da qual o vibrador não exerce mais sua influência. O efeito da vibração diminui quando nos afastamos do vibrador, segundo uma função parabólica. O efeito de vibração pode ser determinado experimentalmente, deixando-se uma barra de ferro cravada no concreto fresco, a diferentes distâncias do vibrador. O raio de ação é proporcional à raiz quadrada da potência. Sendo assim, para duplicar-se o raio de ação é necessário quadruplicar-se a potência. O raio de ação depende, além da potência do vibrador, das características do concreto.

A aplicação de um vibrador deve ater-se aos seguintes cuidados:

- As posições sucessivas devem estar a distâncias inferiores ou iguais ao raio de ação do vibrador;
- o aparecimento de ligeira camada de argamassa na superfície do concreto, assim como a cessação quase completa de desprendimento de bolhas de ar, corresponde ao término do período útil de vibração;
- as camadas de concreto lançadas devem ter altura inferior ao comprimento da ponta vibrante dos vibradores de imersão, a fim de homogeneizar perfeitamente o concreto em toda a altura da peça;

- a inserção da ponta vibrante no concreto deve ser rápida e sua retirada muito lenta, ambas com o aparelho em funcionamento.

CURA

() Dá-se o nome de cura ao conjunto de medidas com a finalidade de evitar a evaporação prematura da água necessária à hidratação do cimento, que rege a pega e seu endurecimento.

() A Norma Brasileira NB-1/77 exige que a proteção contra a perda de unidade seja feita nos 7 primeiros dias contados do lançamento e o mesmo é desejável nos 14 dias seguintes, assim garantindo, o não aparecimento de fissuras devidas à retração. As condições de umidade e temperatura, principalmente nas primeiras idades, têm importância muito grande nas propriedades do concreto endurecido.

As principais conclusões são:

- A cura úmida melhora as características finais;
- o ensaio saturado dá valores mais baixos que o ensaio a seco;
- é possível recuperar parte da resistência, em uma cura imperfeita, facilmente se mais cedo for retomada;
- o resultado entre uma cura ao ar livre e a protegida acrescenta 40% considerando os 28 dias, idade geralmente considerada como referência.

As conclusões mais importantes são:

- As condições de temperatura nos primeiros dias são as mais importantes;
- a diminuição da temperatura prejudica consideravelmente o aumento da resistência;
- é possível a recuperação parcial da resistência após uma queda acentuada de temperatura, desde que não seja muito prolongada, pela exposição a condições normais.

() Na obra, a cura do concreto pode ser realizada por vários processos:

- Irrigação periódica das superfícies;
- recobrimento das áreas com areia ou sacos de aniagem rompidos, mantidos sempre úmidos;
- emprego de compostos impermeabilizantes de cura;
- recobrimento com papéis impermeáveis especiais (Sizalkraft), que impedem a evaporação, dispensando o uso de água;
- aplicação superficial do cloreto de cálcio, na razão de 800 g/m², indicados para climas úmidos, pois absorvem e retêm a água do ambiente e propiciam a cura.